UNIVERSITY OF TORONTO
3 1761 00836647 8

# Fortschritte
der
# naturwissenschaftlichen Forschung
herausgegeben von
E. Abderhalden.
6. Band.

URBAN & SCHWARZENBERG
BERLIN-WIEN

Ex
Prof. T. G. Br
S. C.
A 1554 f

# FORTSCHRITTE

DER

# NATURWISSENSCHAFTLICHEN FORSCHUNG.

---

HERAUSGEGEBEN VON

PROF. DR. EMIL ABDERHALDEN,
DIREKTOR DES PHYSIOLOGISCHEN INSTITUTES DER UNIVERSITÄT HALLE a. S

**SECHSTER BAND.**

MIT 20 TEXTABBILDUNGEN.

326670
4. 5. 36.

URBAN & SCHWARZENBERG
BERLIN N., FRIEDRICHSTRASSE 105b
WIEN I., MAXIMILIANSTRASSE 4
1912.

QH
9
F6
Bd. 6

ALLE RECHTE VORBEHALTEN.

Copyright, 1912, by Urban & Schwarzenberg, Berlin.

# Inhaltsverzeichnis.

Seite

**Der gegenwärtige Stand der Seenforschung** von Prof. Dr. **W. Halbfass**, Jena . . . . . 1

**Eine neue Methode auf dem Gebiete der Geomorphologie** von Doz. Dr. **Alfred Rühl**, Berlin . . . . . 67

**Zur Frage der funktionellen Psychosen** von Prof. Dr. **Oswald Bumke**, Freiburg i. B. . . . . 131

**Regeneration und Verwandtes** von Geh. Rat Prof. Dr. **Dietrich Barfurth**, Rostock . . . . . 153

**Über optische Sensibilisatoren im Tier- und Pflanzenreiche** von Doz. Dr. **Walther Hausmann**, Wien . . . . . 243

**Grundlagen und Ergebnisse der radioaktiven Forschung** von Prof. Dr. **Otto Hahn** und Dr. **Lise Meitner**, Berlin . . . 265

# Der gegenwärtige Stand der Seenforschung.

Von **W. Halbfaß**, Jena.

## I. Topographie, Hydrographie, Geologie der außereuropäischen Seen.

### Einleitung.

Eine Darstellung der Fortschritte in der Erforschung der Seen in ihrem ganzen Umfang fehlt meines Wissens in der Literatur gänzlich, will man nicht etwa die im ersten Band des Report on the Scientific Results der Bathymetrical Survey of the Scottish Fresh-Water Lochs von Sir *John Murray* und *Laurence Pullar* (Edinburgh 1910) vereinigten Abhandlungen verschiedener Gelehrter über einzelne Zweige der Seenforschung oder die Berichte über die Fortschritte der Gewässerkunde von Dr. *W. Gerbing* in *Wagners* Geogr. Jahrbuch, Leipzig 1907, dafür nehmen. Allein so wertvoll auch jene Abhandlungen in *Murrays* Standardwerk sind und so nützlich auch die Übersichten im Geogr. Jahrbuch für Gelehrte sein mögen, die sich mit einzelnen Problemen der Seenkunde, sei es auf regionalem Gebiet oder in einem bestimmten Zweige desselben befassen, von einer wirklichen Darstellung des Standes der gegenwärtigen Seenkunde sind beide Zusammenstellungen weit entfernt, letztere aus leicht begreiflichen Gründen noch weiter. So möge denn im folgenden ein Versuch gemacht werden, eine solche zu schreiben.

Da, wie schon oben erwähnt, eine zusammenfassende Darstellung des heutigen Standes der Seenforschung in seinen einzelnen Zweigen gefehlt hat, wird es nötig sein, für die außereuropäischen Erdteile etwa 10, für Europa etwa 4—5 Jahre zurückzugreifen, um den Zusammenhang früherer Forschungen mit denjenigen, welche in der Gegenwart betrieben werden, herzustellen. Dem Charakter der „Fortschritte der naturwissenschaftlichen Forschung“ entsprechend finden diejenigen Arbeiten auf dem Gebiete der Seenkunde, welche sich mit Fragen des Verkehrs, der Siedelung, den politischen Verhältnissen, der Ausnützung der Seen für Industrie und Gewerbe, für die Fischerei und Trinkwassergewinnung usw., kurz mit anthropogeographischen Fragen beschäftigen, keine Berücksichtigung.[1])

[1]) Bibliographische Hilfsmittel nach dieser Richtung fehlen bislang völlig; die anthropogeographische Literatur der Seen ist in vielen Zeitschriften und Einzelaufsätzen

Unter den literarischen Hilfsmitteln, die dem Forscher auf seenkundlichem Gebiete zur Verfügung stehen, erwähne ich in erster Linie die schon oben berührten Berichte über die Fortschritte der Gewässerkunde von Dr. *W. Gerbing* in *Wagners* Geogr. Jahrbuch, ferner für die Zeit bis 1902 den auf die Seen sich beziehenden Teil der Fortschritte der Geophysik von Prof. Dr. *Rudolph* in demselben Jahrbuch, die nicht mehr fortgesetzt werden. Sodann die Übersichten von Neuerscheinungen auf geographischem Gebiet, welche allmonatlich in *Petermanns* Geogr. Mitteilungen und — vielleicht weniger vollständig — im Geogr. Journal (London) erscheinen. An Umfang hinter diesen beiden periodischen Erscheinungen stehen sehr erheblich zurück die Literaturzusammenstellungen in anderen geographischen Zeitschriften, wie in den Annales de Géographie, dem Scott. Geogr. Magazine, dem Boll. della Societa Geografica Italiana, der Geographischen Zeitschrift u. a., denen sämtlich der Mangel anhaftet, daß sie nur Artikel in geographischen Zeitschriften und periodischen Veröffentlichungen berücksichtigt, nicht aber solche in technischen und rein naturwissenschaftlichen Zeitschriften.[1]) Diesen Vorwurf kann man der von *O. Baschin* so trefflich redigierten Bibliotheca Geographica, welche die Gesellschaft für Erdkunde in Berlin alljährlich herausgibt, nicht machen.[2]) Ohne Zweifel stellt dies mühevolle Werk zurzeit das bei weitem beste bibliographische Hilfsmittel dar, welches wir für die einzelnen Zweige der Geographie, also auch für die in der Hauptsache nach noch immer geographische Seenkunde besitzen.

Zum Schluß[3]) sei noch die vortreffliche Bibliography of Limnological Literature, compiled in the Challenger Office von *James Chumley*, dem Sekretär der Schottischen Lake Survey, Edinburgh 1910, erwähnt, welche in dem S. 1 erwähnten Reports on the Scientific Results of the Bath. Survey of the Scottish Fresh-Water Lochs erschien. Ohne allen Zweifel gibt sie die vollständigste Zusammenstellung der limnologischen Literatur, welche man bisher kennt.[4])

---

zerstreut; einige Übersicht geben die Zeitschrift für die gesamte Wasserwirtschaft, Halle, die Allgemeine Fischereizeitung, München, die Zeitschrift für Binnenschiffahrt, Berlin. Vgl. meinen Artikel „Die wirtschaftliche Bedeutung der Binnenseen“ in den Deutschen Geogr. Blättern, 33, 4. Bremen 1911.

[1]) Der im Jahrbuch für Astronomie und Geophysik, Leipzig, jährlich erscheinende Abschnitt „Seen und Moore“ kommt hier nicht in Betracht, da er nur Arbeiten in auch sonst leicht zugänglichen Zeitschriften berücksichtigt.

[2]) Der International Catalogue of Scientific litterature, London, Abteilung Geographie, wurde von mir nicht zu Rate gezogen, da alles Wesentliche bereits in der Bibl. Geographica berücksichtigt ist.

[3]) Für Europa darf ich hier wohl auf meine in der Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin (1903, Nr. 8—10, 1904, Nr. 3) erschienene „Morphometrie der europäischen Seen“ aufmerksam machen, welche als erster Entwurf einer solchen natürlich noch sehr der Vervollständigung bedarf und überdies seit seinem Erscheinem vielfach überholt worden ist.

[4]) Die beim Zitieren gebrauchten Abkürzungen dürften leicht verständlich sein; P. M. bedeutet *Petermanns* Mitteilungen; G. J. The Geogr. Journal, London. Teil II wird

## Amerika.

Das Seenphänomen ist in Amerika, aus Gründen, die mit der glazialen Entstehung der Mehrzahl der Seen auf der Erde eng zusammenhängen, am stärksten im äußersten Norden wie im äußersten Süden verbreitet, nämlich in Britisch-Nordamerika und im chilenisch-argentinischen Grenzgebirge fast im äußersten Süden Südamerikas. Leider wissen wir von den gewaltigen Seen beider Gebiete noch äußerst wenig, hauptsächlich deswegen, weil sie in nahezu unbewohnten Gegenden liegen, die aus klimatischen Gründen schwer zugänglich sind und auch sonst keine materiellen Anziehungspunkte besitzen. In Yukon, nahe der Grenze von Alaska, hatte im Mai 1898 *Otto Nordenskjöld* mehrere Seen nördlich vom Lynn Canal besucht[1]), unter anderen den 35 *km* langen Bennettsee und den etwa 300 $km^2$ großen Lebargesee, dessen Entstehung nicht leicht zu erklären ist, da weder von Verwerfungen noch von Endmoränen etwas zu sehen ist, vielleicht muß man doch an einen Faltenauftrieb des Gebirgsrandes denken. In ihm sind Tiefen bis zu 110 *m*, im Bennettsee solche bis zu 65 *m* gelotet worden.

Von den großen Seen in den Territorien Mackenzie und Athabasca wissen wir bis jetzt wenig mehr als ihren ungefähren Flächeninhalt, der in dem Official Atlas of Canada 1906 aufgeführt worden ist. Danach ist der Große Bärensee ca. 29.000 $km^2$, der Große Sklavensee 27.000 $km^2$, der Athabascasee ca. 8000 $km^2$, der kleine Sklavensee 1200 $km^2$, der Renntiersee 6500 $km^2$, der Wollastonsee 2100 $km^2$, der Artilleriesee 500 $km^2$ groß. Der Große Bärensee soll nach *Murray*[2]) eine mittlere Tiefe von 82 *m* erreichen, diese Angabe beruht aber wohl auf einem Mißverständnis der Angaben *Bells* (siehe unten), welche nur sagt, daß man in der Mitte des Sees mit 84 *m* Lotleine nicht den Boden berührt habe: der kleine Sklavensee soll meist unter 3 *m* tief sein. Nach *Tyrrell*[3]) sollen die Ufer des Artilleriesees bis 60 *m*, des Großen Bärensees nach *J. M. Bell*[4]), Mitglied der Geol. Surv. of Canada, solche bis 300 *m* Höhe besitzen: derselbe fand an seinem Nord- und Ostufer deutliche Spuren von Strandlinien von einer Höhe von 90 *m* und einer Entfernung von 5—6 *km* von dem heutigen Ufer entfernt. In der Bucht Mac Tavish bemerkte er 90 bis 130 *m* breite, alte, hohe Böschungen und in geringer Entfernung vom heu-

sich außer mit der Topographie, Hydrographie und Geologie der Europäischen Seen mit der Physik, Hydraulik und Biologie der Seen beschäftigen.

[1]) Topographisch geologische Studien in Fjordgebieten. Bull. Geol. Inst. Upsala, Vol. IV, 1900.

[2]) Report on the Scientific Results of theBathym. Survey of the Scott. Fresh-Water Lochs. Edingburgh 1910. S. 630 ff.

[3]) Report of the J. W. Tyrrell Exploratory Survey between Great Slave Lake and Hudson Bay. Districts of Mackenzie and Keewatin 1902.

[4]) *J. M. Bell*, Report on the topography and geology of Great Bear Lake and of a chain of lakes and streams thence to Great Slave Lake. Ann. Rep. Geol. Surv. Canada (XII; Part. C), Ottawa, 1901, cf. G. J., Bd. 18, 1901.

tigen Strand in einer Höhe von 3—30 *m* Terrassen, welche aus gerollten Kieseln zusammengesetzt waren.

In den Bezirken Saskatchewan und Manitoba erreicht der Winnipegsee (nach *Murray*) eine Größe von über 23.000 $km^2$, eine Tiefe von 27 *m*; der Manitobasee soll 4800 $km^2$ groß, 4 *m* tief, der Winnipegosissee 5400 $km^2$ groß sein und 12 *m* tief werden.[1]) Auf der Halbinsel Labrador entdeckte Frau *Leonidas Hubbard*[2]) den Lake Michikaman, der 95 *km* lang und bis 55 *km* breit wird, noch im August fand sie dicke Eisschollen aus dem Winter des vorhergehenden Jahres auf dem Eis schwimmen. Zwischen der Nordostküste und dem George River entdeckte *D. B. Mac Millan* den 40 *km* langen Misternipisee (P. M., 1910, II, S. 257). Der Mistassinisee soll nach *Murray* (siehe oben) 4500 $km^2$ groß sein und bis 120 *m* tief werden. Mit dem 3900 $km^2$ großen Wäldersee hat sich *Selwyn*[3]) beschäftigt, während über den eigentlichen Quellsee des St. Lorenzstromes, den Nipigonsee (= „klares Wasser"), der mit den zahlreichen Inseln ein Areal von 4600 $km^2$ bedeckt und eine Tiefe von 160 *m* erreichen soll[4]), jüngst eine größere Arbeit von *Alfred W. G. Wilson* erschienen ist.[5]) Danach ist die Entstehung dieses Beckens sehr verwickelter Natur und auf die archäische Zeit zurückzuführen, möglicherweise fällt die spätere Erhebung des nördlichen Randes des Superior mit der Depression des Nipigonbeckens zusammen, doch fehlen hier noch Spezialforschungen über die Störungserscheinungen in der Oberfläche dieser Gegend. Eine systematische Auslotung des Sees scheint noch nicht vorgenommen zu sein. Die großen Seen des St. Lorenzstromes[6]) bilden von seiten der Union den Gegenstand der „United States Survey on Northern and Northwestern Lakes", welche dem War Department untergeordnet ist und regelmäßig Bulletins über den Stand ihrer Untersuchungen herausgibt. Die letzte ist aus dem Jahre 1910 und ist als Appendix G G G zu dem Annual Report of the chief of Engineers erschienen. Im gleichen Jahre hat das Office als Occasional Paper N. 40 „a brief outline of the work of the lake Survey" herausgegeben, welches über alle in Arbeit begriffenen Unternehmungen berichtet. Die Untersuchungskommission hat von 1841—1910 rund 18 Millionen Mark für ihre Zwecke ausgegeben, wobei man aber im Auge behalten muß, daß die praktischen Aufgaben für die Schiffahrt stets im Vordergrund ihrer Interessen gestanden haben. Im Geschäftsjahr 1909/10 war die Survey beschäftigt mit Lotungen im Südteil des Michigan, an der Westküste des

[1]) Nach briefl. Mitt. des Depart. of the Interior. Canada soll der Winnipegsee nur 18 *m*, der Manitobasee 6 *m*, der Wollastonlake dagegen bis 71 *m* tief werden.

[2]) Bull. Americ. Geogr. Soc. New York, Sept. 1906.

[3]) Origin of lake-basins. Nature, Bd. 49. London 1894.

[4]) *Oppel*, Landeskunde des Britischen Nordamerikas. Leipzig 1906, S. 104.

[5]) Geology of the Nipigon Basin, Ontario. Canada Dep. of Mines, Geol. Surv. Memoir. Nr. 1. Ottawa 1910.

[6]) Vgl. *E. Channing* und *M. F. Lansing*, The story of the Great Lakes. New York und London 1909. *van Hise* und *Leith*, The geology of the Lake superior region. Washington 1911, kommt hier weniger in Betracht.

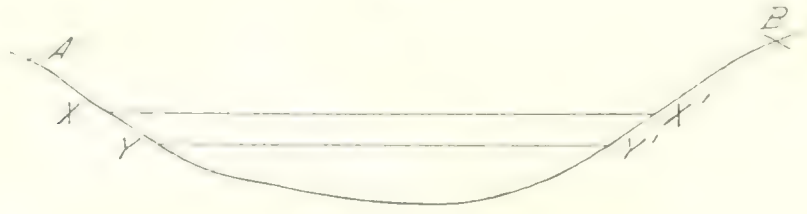
Huron, im westlichen Teil des Erie und dem Anschluß der Triangulation der Westküste des Huron an die schon früher erfolgte des Erie. Daneben gehen unausgesetzt die magnetischen Arbeiten, besonders diejenigen der Abweichungen der Deklination, welche ja für die riesige Schiffahrt auf den 5 Seen besonders wichtig sind, weiter.

Über die säkularen Wasserstandsschwankungen der 5 großen Seen habe ich mich bereits im 2. Teil meiner „Klimatologische Probleme im Lichte moderner Seenforschung“ [1]) ausführlich geäußert und verweise in bezug auf Einzelheiten auf diese Schrift. Die Kurven der Wasserstandsschwankungen seit dem Jahre 1905, welche in dem oben erwähnten Appendix G. G. G. der Lake Survey 1910 vervollständigt wurden, zeigen für den Michigan, Erie und Ontario Maxima um 1865 und 1888, welche am deutlichsten beim Michigan hervortreten, am wenigsten deutlich beim Ontario, ferner 2 Minima um 1870 und 1897, von denen allerdings das erste beim Ontario durch Bildung mehrerer Teilminima sehr verwischt ist. Im Mittel ist die Dauer dieser Periode 26 Jahre, also erheblich kleiner als die *Brückner*sche. Ein völlig verschiedenes Bild liefert die Kurve des Superior, nämlich 2, wenn auch schwach ausgebildete, Maxima um 1870 und 1902, und dazwischen ein Minimum um 1886. Das Maximum steht also im scharfen Gegensatz zu demjenigen der 3 anderen Seen. Seit 1905 fällt der Spiegel des Superior und Michigan, sowie der beiden unteren Seen, obwohl hier schwächer ausgeprägt. Änderungen in den Wasserständen und Niederschlagsmengen gehen keineswegs immer Hand in Hand, bewegen sich vielmehr oft in entgegengesetzter Richtung aus Gründen, welche ich in der oben angeführten Arbeit auseinandergesetzt habe. Der Wasserstand nicht nur des Erie und Ontario, sondern auch des Michigan, ist weit mehr vom Wasserstand des Superior, als von den Niederschlägen im eigenen Seegebiet abhängig. Beim Superior wirkt die rasche Folge schneereicher und schneearmer Winter der Bildung längerer Perioden verschiedener Wasserstände entgegen, so daß dieser Umstand die sonst für die Lösung klimatologischer Probleme überaus günstigen Momente eines relativ kleinen Einzugsgebietes, geringer Zuflüsse und mäßigen Abflusses wieder wettmacht. Bei der Beurteilung des Resultates von Pegelablesungen aller 5 Seen darf man übrigens nicht übersehen, daß vereinzelte resp. einseitige, nur an Einem Ufer vorgenommene Ablesungen den wahren Wasserstand dieser Riesenseen nicht wiedergeben können und daß Schleusenwerke und Kanalanlagen am Ausfluß des Superior in den Jahren 1896 und 1904 auf seinen Wasserstand nicht ohne Einfluß geblieben sein können, wenn auch das Weather Bureau der Ansicht ist, daß dieser Einfluß nur sehr unbedeutend ist. Endlich ist hervorzuheben, daß seit Ende der neunziger Jahre des vorigen Jahrhunderts die Pegelstationen an das Mittelwasser der Stadt New York angeschlossen sind, während sie vorher sich auf das Hoch-

[1]) Beilage zum 33. Jahresbericht des städtischen Gymnasiums zu Neuhaldensleben, 1908.

wasser im Jahre 1838 bezogen. Zu allen diesen Bedenken, die mehr auf hydrographischem Gebiet liegen, kommen aber noch geologische hinzu, mit denen sich die Lake Survey gleichfalls seit einer Reihe von Jahren beschäftigt hat. Es hat sich nämlich als unzweifelhaft herausgestellt, daß alle 5 Seen sich nicht gleichmäßig heben oder senken. Bekanntlich sind die Hudsonbai und die Landmassen zwischen ihr und den großen Seen beständig im Heben begriffen. Das Hebungsgebiet zieht bogenförmig um die Hudsonbai herum und reicht vom Athabascasee bis nach Neufundland, dagegen macht sich südlich dieser Region eine Senkung deutlich bemerkbar; an der Südküste des Ontario und am Südende des Michigan, bei Milwaukee und Chikago ist das Wasser im Laufe des letzten Jahrhunderts um etwa 3 *dm* gestiegen. Die genaueren Messungen verdanken wir *Gilbert*.[1]) Er fand, daß die gegenseitigen Verschiebungen in einem Jahrhundert, und zwar im Sinne einer Senkung in südwestlicher Richtung zwischen der Meßstation am Ontario (Sackett-Harbour und Charlotte) im Mittel 10 *cm*, am Erie (Port Colborne und Cleveland) 22, am Michigan (Port Austin, Milwaukee und Escanaba) teils 30, teils 35 *cm* betragen haben. Man darf

Fig. 1.




bei diesen Zahlenangaben freilich nicht übersehen, daß sie sich zum bei weitem größten Teil auf frühere langjährige Beobachtungen stützen, die seinen eigenen, von Juli-Oktober 1896 vorgenommenen, an Exaktheit bei weitem nachstehen.

An der Tatsache selbst, daß das gesamte große Becken, dessen Reste wir in den jetzigen 5 Seen erblicken, einst zur Hudsonbai abgewässert hat, vielleicht schon in wenigen Jahrtausenden nicht mehr östlich zum St. Lorenzstrom, sondern in der Richtung Chikago durch den Mississippi zum Mexikanischen Meerbusen seinen Ausfluß sich bahnen wird, ist kaum zu zweifeln. Wir haben in diesem Gebiet wahrscheinlich das deutlichste Beispiel einer Hebung und Senkung eines Teiles der Erdoberfläche vor uns, das sich mit genauen Meßkontrollen verfolgen läßt. Ist zwischen $AX$ und $AY$ einerseits, $BX'$ und $BY'$ andrerseits ein Unterschied zu konstatieren, so ist sicher auf eine Erdküstenbewegung zu schließen (Fig. 1).

Die Tiefenverhältnisse der 5 großen Seen, namentlich des Superior und des Huron, sind übrigens bis jetzt nur recht mangelhaft bekannt,

[1]) *G. K. Gilbert*, Recent Earth-Movements in the Great Lakes region. 18th. Ann. Rep. U. S. Geol. Survey. Washington 1898.

aus dem einfachen Grunde, weil den vorwiegend praktischen Interessen der Schiffahrt die Tiefen in den offenen Seen, sofern sie eben keine Untiefen sind, gleichgültig bleiben. So wird z. B. als größte Tiefe des Superior 1008 englische Fuß angegeben (siehe die von der Lake Survey herausgegebene Karte des Sees in 1 : 500.000 vom Jahre 1895, welche aber auch Nachträge bis zum Jahre 1905 enthält). Zwischen der Moniton-island im Süden und der Nordküste sind aber gerade in dem Gebiete, in welchem die bis jetzt eruierte Maximaltiefe liegt, bis jetzt erst sehr wenig Lotungen gemacht worden, so daß eine größere Maximaltiefe recht gut als möglich erscheint. *C. Renner*[1]), Budapest, gibt 422 *m* als Maximaltiefe an und fußt dabei auf Mitteilungen des „Blue Book of American shipping"; mir scheint diese Quelle aber sehr apokryph zu sein und man tut, glaube ich, gut daran, bevor weitere Lotungen seitens der Lake Survey, die in Aussicht stehen, erfolgt sind, so lange an der alten Zahl 308 *m* festzuhalten.

In den Vereinigten Staaten sind außerhalb des Gebiets der großen 5 Seen des St. Lorenzstromes am besten untersucht die Seen im südöstlichen Teil des Staates Wisconsin.[2]) Sie verdanken ihre Existenz sämtlich der letzten Eiszeit; der Verfasser gibt besonders eingehende Schilderungen der Küstenbildungen, welche durch vortreffliche Abbildungen sehr wirksam unterstützt werden. Der größte von ihnen ist der Lake Mendota mit 39 $km^2$, aber nur 25 *m* Maximaltiefe; die größte Tiefe wurde im zweitgrößten See, dem 30 $km^2$ großen Lake Green, gefunden, nämlich 71 *m*. Sie stehen also an Tiefe den sogenannten Fingerseen im Staate New York südlich von Ontario, wo nach *Tarr*[3]) der Cayugasee 131 *m*, der Senecasee 186 *m* Tiefe erreichen, zurück. Da die Meereshöhen 114 bzw. 133 *m* betragen, so sind beide Seen Kryptodepressionen, eine solche ist auch der große Champlainsee, der weiter östlich mit seinem Nordende nach Canada hineinreicht, denn er besitzt bei 30 *m* Meereshöhe eine größte Tiefe von 95 *m*. Die im nördlichen Teil des Staates Indiana gelegenen Seen untersuchten *Blatschley* und *Ashley*.[4]) Sie werden sämtlich durch Moränen früherer Gletscher abgedämmt und sind teils Kessel-, teils Rinnen-, teils Grundmoränenseen. Sehr viele gehen durch rasch zunehmende Vertorfung ihrem baldigen Untergang entgegen; der größte ist der Turkey Lake mit 14·65 $km^2$, der tiefste der nur 4·17 $km^2$ große Tippe Lake (36·7 *m*). Die umfangreichen Mergellager auf ihrem Grunde werden für die bedeutenden Portlandzementfabriken ausgebeutet, die in ihrer Umgebung blühen.

[1]) Schiffbau und Schiffahrt auf den großen Seen in Nordamerika. Zeitschr. f. Binnenschiffahrt, 1909, H. 19.

[2]) *Fennemann*, On the lakes of Northeathern Wisconsin (Wisconsin Geol. and Nat. Hist. Survey B. N. 8, Educational Ser. Nr. 2), Madison 1910 (2. Aufl.).

[3]) Lake Cayuga a rock basin. Bull. of the Geol. Soc. of America, Vol. 5, 1894.

[4]) The lakes of Northern Indiana and their associated deposits (Ann. Rep. Departm. of Geol. and Nat. Ressources of Indiana). Indianopolis 1900.

Im Quellgebiet des Arkansas, im Staate Colorado, hat *Juday*[1]) das Studium des oberen und unteren Twinnsees wieder aufgenommen, welches einst *Hayden*[2]) begonnen hatte. Beide Seen verdanken ihre Existenz dem Gletscher, welcher einst den Lake Creek Cannon erfüllte und 2 Moränen zurückließ, welche das Wasser der beiden Seen anstaute. Ihre Maximaltiefe beträgt ungefähr 23 bzw. 25 *m*, ihre Größe etwa 6 bzw. 2 $km^2$, doch stehen beide Zahlen nicht fest, da die Seen für Bewässerungszwecke neuerdings künstlich angestaut werden. Über den Tahoesee, den nach unseren bisherigen Kenntnissen zweittiefsten See Amerikas, ist neuerdings eine kleine Arbeit von *Juday*[3]) erschienen, welche unsere Kenntnisse über den merkwürdigen See kurz zusammenfaßt. Der in 1900 *m* Meereshöhe gelegene ca. 400 $km^2$ große See ist wahrscheinlich durch Faltung zwischen zwei parallelen Gebirgszügen entstanden und später durch Gletschertätigkeit etwas umgemodelt worden. Nach einer brieflicher Mitteilung des Verf. an mich, sind bis jetzt nur 10 Lotungen im tiefen Wasser des Sees im Jahre 1873 durch *le Conte* ausgeführt worden. Darnach ist der tiefste Punkt (1645′ = 501·4 *m*) am nördlichen Ende einer tiefen Rinne, die sich in der Längsrichtung des Sees in einer Ausdehnung von 18 Meilen hindurchzieht. Da von der großen Bahnlinie, die Kalifornien mit dem Osten verbindet, eine Zweigbahn zu ihm führt, so erscheint es sonderbar, daß noch so wenig von ihm bekannt ist und eine systematische Auslotung noch nicht stattgefunden hat. Über die übrigen zahlreichen, abflußlosen, meist salzigen Seen dieser Gegend sind wir durch *J. C. Russel*[4]) besser orientiert, es kommen Tiefen bis zu 150 *m* vor, neuere Arbeiten darüber fehlen. Ihre Größe wechselt natürlich sehr nach den klimatischen Verhältnissen, das gleiche gilt vom Großen Salzsee in Utah, der übrigens auch schon aus dem Grunde an Umfang schnell abnimmt, weil sein Wasser für Irrigationen stark in Anspruch genommen wird.[5]) In den letzten Jahren ist sein Niveau wieder beträchtlich gestiegen, und zwar, wie *Trimmer*[6]) meint, weil die meteorischen Wasser schneller und ausschließlicher als sonst in den See abflossen, seitdem durch das Weiden zahlloser Herden der Boden festgestampft und seiner Vegetation beraubt wurde. Mir erscheint, angesichts des kolossalen Verbrauchs des Wassers zu Irrigationszwecken, die Ursache dieses merkwürdigen Anstieges wenig plausibel.

Im Nordosten des Staates Utah liegen in den Uinta Mountains eine große Zahl größerer und kleinerer Glazialseen, die *Wallace W. At-*

[1]) A Study of Twin Lakes, Col. Bull. Bureaus of Fisheries, Vol. 26. Washington 1907; idem: Studies on some lakes in the Rocky and Sierra Nevada Mountains Trans. Wisconsins Acad. of Sciences, Vol. XV, Part. II, 1907.

[2]) Twin Lakes. Ann. Rep. U. S. Geol. Survey, Territories for 1873 and 1874.

[3]) Studies on some Mountain Lakes. Trans. Wisconsin Acad., Vol. XV, 1907.

[4]) Lake Lahontan. U. S. Geol. Survey. Monograph, Nr. 11. 1885.

[5]) *Murdoch,* Why Great Salt Lake has fallen. Nat. Geogr. Mag., Vol. XIV, 1904. *F. Wahnschaffe*, gab im „Himmel und Erde", 1905, eine Darstellung seiner Entstehung nach *Gilbert*, Monograph. Nr. 1, Lake Bonville, U. S. Geol. Survey, 1890.

[6]) „Rise in the Level of the Great Salt Lake." G. J., Vol. 31, 1908.

*wood*[1]) auf mindestens 500 schätzt und teils als Stauseen, teils als Evorsionsseen anspricht, sie liegen meist in den jüngeren Moränen.

Im äußersten Nordosten der Vereinigten Staaten, im Staate Washington, liegen am Ostabhang der Caskadenkette eine Reihe von Alpenseen, die sämtlich zum Columbiafluß abwässern; der bemerkenswerteste von ihnen scheint der Chelansee zu sein, dessen helles Lob *Russel* in seinem klassischen Werke Lakes of North America, Boston 1895, S. 65 ff. singt. Der schmale See, der ein ertrunkenes Tal ausfüllt, scheint eine Tiefe von mindestens 400 *m* zu erreichen[2]), so daß er wahrscheinlich die dritte Stelle unter den tiefen Seen Amerikas einnimmt, doch fehlt es an systematischen Lotungen noch gänzlich. Dagegen besitzen wir eine gute Tiefenkarte und sonstige genaue Untersuchungen[3]) des merkwürdigen Crater Lake im Cascadengebirge im Staate Oregon, der mit rund 600 *m* Maximaltiefe den Rekord unter den amerikanischen Seen hält und überhaupt zu den tiefsten Seen der Erde gehört; er ist zuerst von *C. E. Dutton*[4]) beschrieben und ausgelotet (Karte auch bei *Russel*, a.a.O. S. 21). Die Caldera des heutigen Sees kann nur durch Zurücksinken eines großen Teiles seiner Eruptivmasse, des einstigen „Mt. Mazama" entstanden sein. Innerhalb des so entstandenen Riesenkessels (ca. 55 $km^2$) wurde nach einer langen Pause durch eine letzte Regung des absterbenden Herdes der Miniaturvulkan von Wizzard Island aufgeschüttet. Gelegentlich einer Untersuchung im Jahre 1896 glaubte man feststellen zu müssen, daß die Temperatur des Wassers von einer gewissen Tiefe wieder zunehme — in 166 *m* 4°, 312 *m* 5°, in 490 *m* wieder 10° — woraus man schloß, daß der Vulkan, dessen Krater der See ausfüllt, noch nicht völlig erloschen sei. Bei seiner zweiten Untersuchung im Jahre 1901 zeigte es sich, daß die früheren Messungen ungenau gewesen sein mußten, denn das Wasser zeigte von 150 *m* bis zum Grunde überall, bis auf geringe Differenzen von wenigen Zehnteln Grad die gleiche Temperatur von 4°. Man kann also annehmen, daß die vulkanische Tätigkeit des Berges vollkommen erloschen ist, womit das Fehlen jeglicher Fumarolen an seinen Flanken übereinstimmt.

Über einige der zahlreichen Seen der Halbinsel Florida berichtet *E. H. Sellards*.[5]) Die Halbinsel besitzt den zweitgrößten Süßwassersee der Union (nach dem Michigan), den ca. 1800 $km^2$ großen Okeechobee; die Untersuchungen beziehen sich aber auf einige im Nordteile der Halbinsel

[1]) Lakes of the Uinta Mountains. Bull. Amer. Geogr. Soc., Bd. 40. New York 1908.

[2]) *T. W. Symons,* Report on the Upper Colombia. 47th congreß, Senate Executive N. 186, Washington 1892 und Geol. Reconnoissance in Central Washington. U.S. Geol. Surv. Bull. N. 18.

[3]) *J. S. Diller* and *H. B. Patton,* The Geology and Petrography of Crater Lake Natural Park (U. S. Geol. Surv. Washington 1902); cf. *J. S. Diller,* Crater Lake, Oregon. Americ. Journal of Science, Vol. III, March 1897.

[4]) Science, Vol. 7, 1886 and 8, Ann. Rep. U. S. Geol. Survey, 1886/7.

[5]) Some Florida Lakes and Lake Basins. Florida State Geol. Survey, 3 annual. report. Talahassa, Fla. 1910; idem, Some Sink-hole lakes of North Central-Florida. Science, N. S. XXIII. New York 1906.

gelegene Seen, die sämtlich sehr flach sind und bei längerer Trockenheit meist vollständig austrocknen. Sie besitzen aber ziemlich tiefe unterirdische Abflußkanäle, die beim Lake Lafeyette eine Tiefe von 23 *m* erreichen. Fast alle repräsentieren zu Tage getretenes Grundwasser auf Kalkboden, sind also als Karstseen anzusprechen; ihre Umgebung steigt bis 30 *m* über ihr Niveau an. Oberirdische Abflüsse existieren nirgends: der größte von ihnen, der Lake Jamonia, ist bei größtem Umfang etwa 27 $km^2$ groß.

Im Frühjahr 1906 entstand bei Mecca in Südkalifornien ein neuer See, Saltonsee genannt, der im Oktober d. J. schon ein Areal von 1294 $km^2$, also mehr als doppelt so groß als das des Genfersees und eine durchschnittliche Tiefe von $15^1/_2$ *m* besaß, das Volumen des Vierwaldstättersees also beinahe um das Doppelte übertraf. Der See entstand auf folgende Weise[1]): In vorgeschichtlicher Zeit erstreckte sich der Golf von Kalifornien etwa 250 *km* nördlicher als jetzt, bis der damals an einer schmalen Stelle des Golfs einmündende wasserreiche Rio Colorado, der an Länge und Größe des Entwässerungsgebietes etwa mit der Donau wetteifert, durch Deltabildungen allmählich den ganzen nördlichen Teil des Golfes abschnürte. Der so entstandene salzige Binnensee trocknete aus Mangel an Zuflüssen nach und nach vollständig aus und hinterließ eine Depression, welche man am Ende des verflossenen Jahrhunderts auf 91 *m* unter dem Meeresspiegel annehmen durfte. Unterhalb dieser Salzsteppe entstanden in dem fruchtbaren alten Schwemmland des Colorado zahlreiche Ortschaften. Um zur Berieselung der Felder derselben beständig Wasser zur Verfügung zu haben, wurde im Jahre 1901 ein Kanal vom Rio Colorado abgezweigt und durch die Wasserscheide zwischen der Senke und dem Golf hindurchgeführt. Der Fluß selbst aber bohrte sich allmählich immer tiefer in die durchfeuchteten alten Schlammassen des neuen Kanalbettes ein und verließ sein altes Bett bis zu seiner Mündung auf eine Strecke von 100 *km* vollständig und die oben erwähnte Depression füllte sich mit unheimlicher Geschwindigkeit, jeden Tag sich um etwa 40 Millionen Kubikmeter vermehrend. Durch große Stauanlagen suchte man den Kanal zu schließen und den Fluß in sein altes Bett zurückzudrängen, doch nur mit sehr geringem Erfolg. Mitte Dezember brach der Fluß bei Hochwasser von neuem durch die Schutzbauten und erst seit dem 10. Februar 1907 ist der Durchbruch dauernd geschlossen und der Colorado wälzt seine Fluten wieder zum Golf von Kalifornien. Bis jetzt gelangt aber durch kleinere Kanäle und infolge des lockeren angeschwemmten Bodens immer wieder soviel Wasser zum See, daß sein Wasserstand voraussichtlich in absehbarer Zeit unverändert bleiben wird. Die Verdunstung scheint den Zufluß im Jahr nicht mehr als höchstens 1 *m* zu überragen.

Über den Nicaraguasee findet sich in den Reports of the Nicaragua Canal Commission, Baltimore 1899, eine größere Arbeit, über welche *Sapper*

[1]) *H. Erdmann*, Die Katastrophe von Mansfeld und das Problem des Coloradoflusses. P. M., 1907, S. 421ff.

in P. M., 1902, H. 2 berichtet hat. Der größere nördliche Teil des Sees bildete einst eine Meeresbucht, später wurde das Land langsam gehoben und die Erosionswirkung der Flüsse dadurch verstärkt. Die meisten nordöstlichen Zuflüsse des Sees mündeten einst in Buchten, welche später durch sie ausgefüllt wurden. Die Aussüßung des Sees erfolgte so langsam, daß die in ihm lebenden Haifische sich nicht wesentlich von denjenigen des Ozeans unterscheiden. Nach der Tiefenkarte des Sees in 1:400.000, die der *Sapper*schen Arbeit beiliegt, habe ich sein Areal, welches *Sapper* auf 7705 $km^2$ angab, planimetrisch zu 8430 $km^2$, einschließlich der 340 $km^2$ großen Inseln, berechnet, seinen Umfang zu 424 $km$, das Volumen zu 108 $km^3$, woraus eine mittlere Tiefe von nur 13·5 $m$ resultiert, die mittlere Böschung beträgt nur 5′, das Einzugsgebiet umfaßt 32.274 $km^2$ (nach *Sapper*). Die Schwankungen seines Seespiegels innerhalb 24 Stunden gehen im Durchschnitt nicht über 3 $cm$ hinaus, als Maximum der Schwankungen wurde allerdings bisher $4^1/_2$ $m$ beobachtet, was für seine etwaige Benutzung als Kanalstraße sehr in Betracht kommt.[1]) Die größte gemessene Ausflußmenge betrug 1416 $m^3$/Sek. Nordöstlich von ihm liegt der Managuasee, der 1134 $km^2$ groß ist und ein Einzugsgebiet von 6475 $km^2$ besitzt; seine Tiefenverhältnisse scheinen bis jetzt noch nicht bekannt zu sein.

Nachdem *Sapper* die kleinen Kraterseen in Guatemala und Salvador (P. M., 1900, S. 149) besucht, aber nicht ausgelotet hatte, sind die beiden größeren Seen von Guatemala von *Meck*[2]) hauptsächlich zu Fischereizwecken näher untersucht worden, der dabei folgendes feststellte. Der See Amatitlan nimmt eine Bodensenke ein, deren Umfang durch fortwährendes Hineinschwemmen lockeren Materials schnell abnimmt: seine größte Tiefe ist zurzeit 34 $m$, sein Areal etwa 30 $km^2$, seine Durchsichtigkeitsgrenze lag im Januar 1906 bei 4 $m$. Die festen Bestandteile des schwach salzhaltigen Wassers nahmen 421 von 100.000 Teilen ein. Der See Atitlan liegt etwa 300 $m$ höher in 15.000 $m$ Meereshöhe; er hat keinen sichtbaren Ausfluß und nur unbedeutende Zuflüsse. Sein Areal beträgt etwa 700 $km^2$, seine größte Tiefe mindestens 320 $m$. Eine systematische Auslotung ist noch nicht erfolgt.

Nach einer in P. M., 1910, II, S. 81 zitierten Mitteilung in Science (XXXI, 1910, S. 574) hat *Chancy Juday* im Ilopango (San Salvador) eine Tiefe von 222 $m$[3]), im Coatepeque eine solche von 107 $m$ gefunden. Im Ilopango war die Tierwelt durch einen vulkanischen Ausbruch im Jahre 1879 vernichtet worden.

---

[1]) *P. Combes,* Le niveau du lac de Nicaragua est-il constant? Le Cosmos, N. S. 43. Paris 1900. — *J. Crawfordes,* High water in the lakes of Nicaragua. Science, N. S. XV. New York 1902. — *A. P. Davis,* Hydrography of Nicaragua. Ann. Rep. U. S. Geol. Surv. XX. Washington 1900.

[2]) *S. E. Meck,* The Zoology of Lake Amatitlan and Atitlan, Guatemala, with spec. reference to ichthyology (Field Columbian Museum Publ. N. 127. Zool. Ser., Bd. VII, N. 6). Chicago 1908.

[3]) *J. M. S. Peña,* El lago de Ilopango (Salvador). Bol. Soc. Geogr. Madrid 1901, Vol. 43 gibt ihm eine Tiefe von 209·26 $m$, ein Areal von 140 $km^2$.

Auf der Insel Dominica befindet sich ein sogenannter Feuersee, der erst im Jahre 1875 bekannt wurde. Nach neueren Untersuchungen von *F. Sterns-Eadelle*[1]) hat der See eine elliptische Form von 60×30 *m* und eine Tiefe von mindestens 60 *m*. Seine Meereshöhe beträgt 740 *m*. Von Zeit zu Zeit hat er einen Abfluß nach dem Pointe-Mulâtre Bach.

Das Aufkochen findet nur zu bestimmten Zeiten statt, während das Wasser sonst vollkommen ruhig bleibt. Jedenfalls ist der See der Brennpunkt einer vulkanischen Tätigkeit in der „Grande Souffrière", einem Gebiete von etwa 300 $km^2$ Ausdehnung. Ein zweiter „Feuersee" befindet sich in der Nähe des Städtchens Nassau auf der Insel Providence im Bahama-Archipel. Der etwa $^1/_2$ $km^2$ große See steht durch einen 500 *m* langen Kanal mit dem Meer in direkter Verbindung und wird dadurch stets mit frischem Wasser versorgt: nach starkem Regen hört das Leuchten stets für einige Tage auf.

*Neveu-Lemaire*[2]) hat die beiden großen Seen des Hochplateaus von Südamerika, den Titicaca- und den Pooposee morphologisch, physikalisch und biologisch untersucht und dadurch die früheren Untersuchungen von *Agassiz*[3]) wesentlich ergänzt. Die Frage nach der Entstehung dieser mächtigen, aber voneinander höchst verschiedenen, Seen läßt er unberührt, weil die Geologie des umgebenden Landes bisher nur sehr mangelhaft erforscht ist. Mir scheint die Hypothese, sie seien Reste eines einzigen viel größeren Sees, des ursprünglichen Quellsees des Amazonenstromes, sehr zweifelhaft, vielmehr scheint der außerordentlich flache Pooposee (größte Tiefe 3 *m*), der nach dem Tsadsee unter den großen seichten Seen der Erde vielleicht die zweite Stelle einnimmt, der Überrest einer einst größeren Salzpfanne zu sein, wie sie im südlichen Bolivien und dem angrenzenden Teil von Chile nicht selten auftreten; darauf deutet auch sein salziges und trübes Wasser hin.

In einer Sitzung der Geographischen Gesellschaft in London über die Austrocknungsfrage Eurasiens (G. Z., Bd. 23. 1904) bemerkte *M. Conway*, daß er an der Grenze von Bolivien und Peru in 17.000′ Höhe Überreste bebauter Felder gesehen habe, die nun verlassen sind. Da in Südamerika jetzt nirgends mehr Getreidefelder in dieser Höhe existieren können, so kommt er zu dem Schlusse, daß nicht der See sich gesenkt, sondern vielmehr das Land in historischen Zeiten sich gehoben habe. Im Gegensatz dazu plädiert *J. Bowmann*[4]) für größere klimatische Änderungen in Süd-

[1]) The boiling lake of Dominica. A historical and descriptive account of an unique phenomenon. Roseau (Dominica) 1903, cf. G. J., Juliheft 1904; P. M., 1904, L. b. 258.

[2]) *M. Neveu-Lemaire*, Les lacs des hauts plateaux de l'Amérique du Sud. Miss. sc. G. de Créqui Montfort et de E. Sénéchol de la Grange. Paris 1906. Auszug in La Geographie, Juniheft, 1904; cf. *A. F. Bondolier*, The Basin of lake Titicaca. Scott. Geogr. Mag., Vol. XXI, 1905.

[3]) *A. Agassiz*, Hydrographic sketch of lake Titicaca. Proc. Amer. Acad. Arts and Sciences, Vol. XI. Boston 1876.

[4]) Man and Climatic Chance in South America. G. J., Vol. 33, 1909.

amerika seit dem Aufhören der Pluvialzeit im Sinne einer Trockenperiode und beruft sich dabei besonders auf das Verschwinden des Lago Huasco im südlichen Bolivien.

Seine größte Tiefe (272 *m*) fand *Neveu* unweit von Inseln, deren eine größere Zahl vorhanden ist; das südöstliche, mit dem übrigen See nur durch eine schmale Wasserstraße in Verbindung stehende Ende scheint nirgends tiefer als 5 *m* zu sein. *Neveu* gibt als Größe für den See, abgesehen von den Inseln und Halbinseln (?), 5100 $km^2$ an; ist aber der Maßstab der beigefügten Tiefenkarte (1 : 525.000) richtig, so finde ich als Areal, einschließlich der Inseln, 8400 $km^2$, eine Zahl, die mit den Angaben früherer Autoren einigermaßen übereinstimmt. Sein Volumen habe ich schätzungsweise auf 730 $km^3$, seine mittlere Tiefe auf 87 *m* berechnet; berücksichtigt man jedoch, daß bisher auf 70 $km^2$ im Durchschnitt nur eine Lotung kommt, so sind diese Zahlen nur cum grano salis zu verstehen. Es ist sehr erfreulich, daß dieser See, den *R. E. Coker*[1]) nicht ganz mit Unrecht „the most remarkable lake of the World" nennt, Gegenstand erneuter eingehender Untersuchungen im großen Maßstab werden soll, nämlich einerseits seitens nordamerikanischer Gelehrter, andrerseits einer schwedischen Expedition unter Leitung von *J. Selfve*[2]), welche namentlich auch physikalisch-chemische und biologische Untersuchungen vornehmen sollen. Das neueste, sehr splendid ausgestattete, Werk von *Adolph F. Bandelier*[3]) beschäftigt sich ganz überwiegend mit ethnologischen und archäologischen Forschungen und kommt für die eigentliche Geographie des Sees kaum in Betracht. Interessant ist seine gewiß nicht unrichtige Bemerkung, daß eine einigermaßen genaue Aufnahme seiner Küste allein gewiß ein Jahr Zeit in Anspruch nehmen dürfte. Er erwähnt (S. 28, Anm. 27), daß der See in der Nähe der kleinen Insel Koa eine Tiefe von 400 *m* erreichen soll, gesteht aber selbst zu, daß er keine bestimmte Beweise dafür besitze. Die oben erwähnte amerikanische Expedition nach Südperu unter Leitung von Prof. *H. Bingham* hat nach einem Bericht in P. M., Märzheft 1912, den in 3500 *m* Meereshöhe gelegenen See Parinacocha, welcher 27 *km* lang und 8 *km* breit ist, ausgelotet, aber nur eine Tiefe bis zu 1·8 *m* gefunden.

Der See von Valencia in Venezuela ist in P. M., 1908, H. 3 kartographisch im Maßstabe von 1 : 375.000 dargestellt.[4]) Danach ist der See 432 $km^2$ groß und hat ein Volumen von $10^1/_2$ $km^3$, soweit die jedenfalls noch dürftigen Lotungen eine Berechnung gestatteten. Die größte Tiefe scheint 51 *m* zu sein; sie wurde von *Alfredo Jahn jun.* 1893 gelotet; neuere Lotungen scheinen nicht vorzuliegen. *K. Beißwanger* fand bei seiner Reise durch Columbien den See von Guatavia, der in der Mythologie

[1]) Intern. Revue f. d. ges. Hydrol. u. Hydrogr., Bd. IV. Leipzig 1911.

[2]) Ymer, 1910, pag. 328.

[3]) The Islands of Titicaca and Koati. New York 1910.

[4]) Als Nebenkarte der im Jahre 1907 neu erschienenen Karte von Venezuela in 1 : 50.000.

des Chibchavolkes noch eine so große Rolle spielte: der in einem kreisrunden Bergkessel, der einen Krater täuschend ähnlich sieht, in 3000 *m* Meereshöhe gelegene See ist vor einigen Jahren durch eine englische Gesellschaft trocken gelegt (P. M., 1910, II, S. 310). *Sievers*[1]) untersuchte das Quellgebiet des Marañon und gelangte zu dem Ergebnis, daß es 4 Quellseen dieses wasserreichsten aller Ströme der Erde gibt: die Lagune St. Anna, der größte von ihnen, ca. 1000 *m* lang und 400 *m* breit, den Caballo cocha, den Anco cocha und den Lauri cocha, welche alle in 4100—4300 *m* Meereshöhe liegen.

Sehr reich an Seen ist, wie bereits oben bemerkt, die lange Grenze der beiden Republiken Chile und Argentinien, und zwar besonders zwischen dem 38. und 42. und dann wieder zwischen dem 46. und 52. Breitengrad. Namentlich der südliche Abschnitt dieser Zone ist vor allem bei Gelegenheit der Grenzstreitigkeiten beider Länder bzw. endgültigen Festsetzung ihrer Grenzen durch Geologen und Geographen aus beiden Ländern selbst, aber auch aus Deutschland, England, Nordamerika und Schweden näher untersucht worden. Die große Ausdehnung des Gebietes einerseits, die Unwegsamkeit und Unbewohnheit andrerseits haben aber bisher den Forschungen große Hindernisse in den Weg gelegt. Das gilt ganz besonders auch von den größeren und kleineren Seen, die höchstens von Eingeborenen in Einbäumen befahren werden und deren Zugang vom Meer aus teils durch die Stromschnellen ihrer Ausflüsse (nördl. Hälfte), teils durch das gewaltige Inlandeis im Westen (siehe unten) sehr erschwert wird. Es liegen daher auch bisher meines Wissens noch von keinem der vielen Seen Tiefenkarten vor, ja selbst vereinzelte Tiefenangaben sind mir nur in 4 Seen bekannt geworden: im Lago Yelcho[2]) (über 150 *m*), im Puyehuesee südlich von Santiago[3]) (135 *m*), im Buenos Ayressee[4]) (324 *m*) und im Lago Fagnano[5]) (über 300 *m*) in der Tierra del Fuego. Außerdem heißt es noch vom Cochranesee, daß sein Boden sicher unter das Meeresniveau sänke.[6]) Der größte See der ganzen Gruppe scheint der Lago de Buenos

[1]) Vorl. Bericht in der Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin, 1910, Nr. 8.

[2]) *Krüger,* Die Patagonischen Anden zwischen dem 42. und 44. Grad südl. Breite. P. M., Ergänzungsheft Nr. 164, 1909. *Steffens* macht dieser Arbeit in vielen Teilen den Vorwurf eines Plagiats (P. M., 1911, Juliheft).

[3]) *Paul Stange,* Eine Studienreise von Osorno aus. P. M., 1905.

[4]) Ministero de Marino, relevamento hidrografico del rio Santa Cruz. Informe general, Buenos Ayres 1901, zitiert bei *Rabot,* Revue de Limnologie, la Géographie, 1900/01.

[5]) *P. D. Quensel,* On the influence of the ice age on the continental watershed of Patagonia. Bull. Geol. Inst. of the univ. of Upsala, Vol. IX, 1908/09, Nr. 17/18, pag. 88.

[6]) *Hans Steffen* in den Verhandlungen des Deutschen wissenschaftlichen Vereines in Santiago 1903/05 mit einer Übersichtskarte des Gebietes zwischen 46° 20′ und 48° 20′ in 1 : 500.000 und einer Karte von 1 : 200.000 des Gebietes zwischen dem Bakerfjord und dem Lago Cochrane. Leider enthält auch seine zusammenfassende Arbeit über seine Reisen von 1892—1902: Viaches de Esplorazion i Estudio en la Pata-

Ayres zu sein, der durch die neue Landesgrenze ziemlich genau halbiert wird, mit etwa 2000 $km^2$, der Lago San Martin soll 940 $km^2$, der auch von Dampfern befahrene Llanquihue 740 $km^2$, der Lago Cochrane 300 $km^2$, der Puyehuesee 400 $km^2$ fassen. Über den Lago Argentino und Lago Viedma, die an Größe dem Lago San Martin wahrscheinlich wenig nachstehen, habe ich keine Angaben gefunden. Eine ziemlich umfangreiche Literatur existiert bereits über die Entstehung der Andenseen Patagoniens, von welcher wohl die Arbeiten von *Francisco Moreno*[1]), *Otto Nordenskjöld*[2]), *Hatcher*[3]), *Gallois*[4]), *Quensel* (siehe oben), *Hauthal*[5]) und *Krüger* (siehe oben), als die wichtigsten zu bezeichnen sind.

*Moreno* hat zuerst darauf hingewiesen, daß die Seen der patagonischen Anden ursprünglich auch zum Atlantischen Ozean entwässert hätten, während sie jetzt ihren Ausfluß meist nach dem Stillen Ocean nehmen. An dieser Änderung sind sicherlich ebensoviel tektonische Gründe — einseitige Hebung der Ostseite Patagoniens, — wie glaziale Ursachen beteiligt, insofern die Anhäufung des Schuttmaterials des großen Inlandgletschers, der fast durch 6 Breitengrade das Land mit nur einer kurzen Unterbrechung von 60 *km* bedeckt, den Ausfluß nach Osten allmählich versperrte. *Nordenskjöld* hält die Transversaltäler, in welchen die großen Seen eingebettet liegen, für Erosionstäler einer Interglazialzeit, während *Quensel* sie in eine präglaziale Zeit versetzt, als das Land nach der letzten mächtigen pliocänen Transgression wieder in Hebung begriffen war.

*Hatcher,* welcher im Auftrage des Carnegie-Museums in Pittsburg die Gegend 1896/99 3mal bereist hatte, teilt die Seen in solche tektonischen, glazialen und residualen Ursprungs ein. Zu den tektonischen rechnet er die großen Wasserflächen, die sich südlich vom 46. Breitengrad aneinanderreihen, die Seen Argentino, San Martin, Puyrredon und Buenos Aires; sie sind von West nach Ost gerichtet und reichen mit ihren westlichen, stark zerrissenen Teilen tief in die östliche Seitenkette der Anden hinein, von welchen die Gletscher zu ihnen hinunterreichen. Diese Seen verdanken ihre Entstehung der ungleichen Schichtenfaltung,

gonia Occidental. 2 Bde. Santiago de Chile 1909 und 1910 über die Hydrographie der Seen sehr wenig, über ihre Tiefenverhältnisse speziell so gut wie gar nichts. Nach brieflichen Mitteilungen von *Steffen* an den Verf. steht eine Herausgabe einer Tiefenkarte des Lago San Rafael bevor, der vor einigen Jahren von einer Kommission zum Studium des Durchsticks der Landenge von Ofqui ausgelotet wurde.

[1]) G. J., 1899, pag. 253 ff., 356 ff.

[2]) Wissenschaftliche Ergebnisse der Schwedischen Expedition nach den Magelhaensländern 1895/07. Bd. I. Geologie. Geographie und Anthropologie. Stockholm 1907.

[3]) Reports of the Princeton-University expedition to Patagonia in the years 1896/99. Vol. I. Geography of southern Patagonia. Stuttgart 1903. Id. The lake system of southern Patogonia. Bull. Geogr. Soc. Philadelphia 1900.

[4]) Les andes de la Patagonie. Annales de Géographie, tome X, 1901, mit einer Karte des gesamten Seengebietes vom 39. Breitengrad bis zur Südspitze Amerikas in 1 : 1,500.000 und vortrefflichen Abbildungen.

[5]) Expedition der Princeton Universität nach Patagonien. P. M., 1906, pag. 186 ff.

die während des Aufsteigens der südlichen Anden in der späteren Tertiärzeit stattgefunden hat. Östlich von dieser Seenreihe und bereits außerhalb der Andenvorhügel geht eine zweite von Nord nach Süd, deren Glieder — wie Laguna blanca, Cardiel, Colhuel und Musters — kleiner sind als die der ersten Reihe; diese sind nach *Hatcher* glazialen Ursprungs, entstanden aus dem Abdämmen vorglazialer Entwässerungswege durch Glazialgeröll während des Zurückweichens der Gletscher, die beim Schluß der dortigen Eiszeit die betreffenden Täler einnahmen. Über die Entstehungsursache des zweiten Seensystemes ist wohl auch sonst kein Zweifel gewesen, wohl aber über die Bildung des dritten Systems, der zahlreichen Salzseen, die über die ganze patagonische Ebene von Bahia Blanca bis zur Magellanstraße zerstreut liegen. *Nordenskjöld* ist der Meinung, daß das Salz dieser Seen nicht direkt aus dem Meere herrührt, sondern daher, daß sie keinen Abfluß haben, und aus der Zuführung von Salz durch das von den umgebenden Felsen hineinfließende Wasser. *Hatcher* wendet sich gegen diese Theorie und meint, daß diese von ihm „Residualseen" genannten, außerordentlich flachen, aber streng umgrenzten und oft sehr ausgedehnten Gewässer ihr Salz aus dem Meere her haben; sie seien aus Wasserflächen entstanden, die während des allgemeinen Aufsteigens am Schlusse der Tertiärzeit vom offenen Meere abgeschlossen worden wären; sie wären also keine ehemaligen, durch Ausdunstung salzig gewordenen Süßwasserseen. *Hatcher* führt für seine Theorie noch eine Reihe Beobachtungen ins Feld, auf die wir hier nur verweisen können.

*Hauthal* führt gegen die Ausführungen *Hatchers* vor allem die Tatsache an, daß dieser von den großen Seen des Andensystems nur das Ostende des Lago Argentino und des Lago Puyrredon aus eigener Anschauung kenne und daher zu sehr theoretisiere, ein Vorwurf, den ihm auch *Gallois* macht. Von den Seen der zweiten Kategorie *Hatchers*, deren glazialen Ursprung niemand bezweifelt, haben nach *Hauthal*, Lago Cardiel und Laguna blanca salziges, nichtsüßes Wasser. Ob alle anderen Salzwasser führenden Lagunen, die ganz flachen, meist im Sommer gänzlich austrocknenden Becken Reliktenseen seien, sei sehr fraglich. Auch *Nordenskjöld* und *Ameghino*[1]) sprechen sich dagegen aus. *Quensel* macht darauf aufmerksam, daß die 5 größten Andenseen fast in gleicher Meereshöhe liegen, Argentino 200 *m*, Viedma 250 *m*, San Martino 200 *m*, Puyrredon 199 *m* und Buenos Ayres 217 *m*, und daß die am Westende der Seen gelegenen Fjorde ein völlig anderes Gepräge tragen, als die am breiten Ostende der Seen. Die erodierende Kraft der Gletscher muß also dort auch viel kräftiger gewirkt haben, als an der Osthälfte der Seen, die sie bälder ausgefüllt haben. Würde man einst die Seen ausloten, so würde man in der Westhälfte ohne Zweifel weit größere Tiefen erhalten, als an der Ostseite. Die Seen könnten also in Summa nicht einfach als tektonische Depressionen hingestellt werden, sondern sie stellten in ihrem östlichen Teil

[1]) L'âge des formations sédimentaires de Patagonie. Geol. Mag., 1897.

die Fortsetzung der Erosionstäler der Pampas dar, während sie nach Westen zu wesentlich durch Glazialerosion modelliert worden sind.

Was die einzelnen großen Seen angeht, so bemerkt *Quensel* speziell über den buchten- und fjordreichen Lago San Martino[1], daß eine Hebung des Seeniveaus um 24 *m* völlig genügen würde, um ihm wieder den Ausfluß in östlicher Richtung zu geben, den er schon einmal besessen hat. Der östliche Ausfluß des Lago Buenos Ayres war der Rio Deseado, der jetzt in einem breiten Tal meist wasserleer ist. Etwas anders steht es mit dem Lago Argentino, welcher noch seinen natürlichen Ausfluß nach Osten in den Santa Cruzfluß besitzt, während sein Westende durch den großen patagonischen Inlandgletscher gesperrt ist, der mächtige Eisberge in die Fjorde des Sees hinabsendet.[2]) Möglicherweise hat sich scheinbar unter diesem Gletscher auch ein Ausfluß nach Westen gebildet.

*Krügers* Arbeit beschäftigt sich mit den weit nördlicher gelegenen Seen zwischen dem 42.—44. Grad s. Breite, kommt aber im ganzen zu ähnlichen Schlüssen wie *Quensel*, daß nämlich die glazialen Wirkungen für die Bildung jener Seen in erster Linie ausschlaggebend seien. Der von ihm entdeckte Lago Yelcho, der das größte zum Gebiet des Rio Futaleufu gehörige Gewässer bildet, besitzt eine Länge von 32 *km* und eine zwischen $1^1/_2$ und 7 *km* wechselnde Breite, im nördlichen Becken fand er Tiefen von 95 und 115 *m*, während im südlichen Teil seine 150 *m* lange Lotschnur an 2 Stellen keinen Grund erreichte. Der See ist also bei einer Höhenlage von 70 *m* über dem Meer sicher eine Kryptodepression. Sein Wasserstand scheint beträchtlichen Schwankungen ausgesetzt zu sein. Die Seen im oberen Teil des Futaleufu, die Lagos Bravo, Chico, Jorje Montt, Barros Arana, Menendez, zusammen 8 größere und 19 kleinere, scheinen dem Autor tektonischen Ursprungs zu sein; bei einigen von ihnen fehlt ein sichtbarer Abfluß des ehemals weit ausgedehnteren Wasserbeckens.

Die Seen des chilenisch-argentinischen Grenzgebietes bieten noch auf lange Zeit hinaus Stoff für höchst interessante und wertvolle Untersuchungen.

## Australien.

Der für den größten See des australischen Festlandes gehaltene See, der Lake Eyre, dessen Spiegel 12 *m* unter dem Meeresboden liegt, soll zu Zeiten seines größten Umfanges etwa 8000 $km^2$ bedecken. Als ihn *J. W. Gregory*[3]) vor einigen Jahren besuchte, fand er überhaupt gar kein Wasser vor; sogar sein Zufluß war ausgetrocknet und nur in den tiefsten Stellen der Flußbetten wurden einige Salzbecken beobachtet, die bei Hochwasser von Süßwasserströmen durchflossen werden. Sicher ist er einst ein

[1]) Vgl. *H. L. Crosthwait*, A journey to lake San Martin, Patagonia. G. Z., XXV, 1905 und *J. W. Evans*, Hydrography of the Andes, ibid.

[2]) Sehr instruktive Abbildung bei *Quensel*, a. a. O. S. 64.

[3]) The Dead Hart of Australia and its flowing Wells. London 1906. Auszug im „Journey around Lake Eyre." Scott. Geogr. Mag., 1908, Bd. 24, Nr. 7.

viel größerer und tieferer Binnensee mit dem Ausfluß nach Süden gewesen. Die Verdunstung ist aber sehr groß, sie überragt die jährliche Regenmenge um das 15- 20fache, so daß eine gänzliche Austrocknung des Sees in einer nahen Zukunft zu erwarten steht. Auch dem in Neusüdwales gelegenen Lake George scheint das Schicksal des Neusiedlersees bevorzustehen: *Taylor*, der ihn 1905 besuchte[1]), fand ihn vollständig trocken und glaubt, daß er niemals einen Ausfluß gehabt hat. Von Wasser bedeckt gewesen soll er 1816/30, 1852, 1864, 1874/90 gewesen sein, und zwar in maximo bis zu 500 $km^2$. Seine jetzige Trockenperiode datiert schon seit dem Jahre 1900. Von den kleinen Hochseen der Australischen Alpen, die sich meist im Kosciuskogebirge befanden[2]), scheint der größte der in 1900 *m* Meereshöhe gelegene Lake Merewether zu sein. Ohne Zweifel sind sie, wie das schon *Lendenfeld* bei seinem ersten Besuch dieser Gegend im Jahre 1885 aussprach[3]), die letzten deutlichen Spuren einer einst ziemlich bedeutenden Vergletscherung dieses Gebirges. Auf der Insel Tasmania befinden sich im Gebiet der Great Western Mountains zwischen dem 900 *m* hohen Massiv des Mount Lyell und dem 1153 *m* hohen Mount Owen mehrere Seen von beträchtlicher Größe, so der Great Lake, den *Gregory*[4]) auf 100 $km^2$ schätzt (?), die Lakes Sorel u. a. Nähere Angaben fehlen noch.

Weit besser sind wir über die Seen der Nord- und Südinsel von Neuseeland orientiert, die sich dort als Spuren ehemaliger starker Vergletscherung erhalten haben und sich zum Teil durch ihre sehr erhebliche absolute und relative Tiefe auszeichnen.

Nachdem bereits 1886 *L. Cussen* den 616 $km^2$ großen Tauposee auf der Nordinsel aufgenommen[5]) und *Blair* in zahlreichen Seen Lotungen gemacht hatte[6]), wobei er im Stawea Tiefen bis nahezu 400 *m* fand, ohne aber Tiefenkarten entworfen zu haben, hat *Lukas*[7]) in 8 Seen zusammen 2000 Lotungen gemacht und das Resultat in Karten von 1:100.000 bzw. 2:200.000 festgelegt. Da durchschnittlich auf 1 $km^2$ wenig mehr als eine Lotung kommt, so darf man natürlich an die Genauigkeit seiner Seenkarten nicht den europäischen Maßstab legen. Als der tiefste See hat sich der Manapouri herausgestellt, dessen bei dieser Gelegenheit zum erstenmal aufgenommenen Konturen eine gewisse Ähnlichkeit mit denjenigen des Vierwaldstättersees besitzen, den er aber an Tiefe

[1]) The Lake George Senkungsfeld, a study of the evolution of Lakes George and Bathurst N. S. W. Proc. Linn. Soc. N. S. W., Bd. 32. Sydney 1907.

[2]) *B. A. David, R. Helms* and *E. F. Pittmann*, Geol. Notes on Kosciusko Mountains, ibid. 1901.

[3]) Die einstige Vergletscherung der Australischen Alpen. P. M., 1904, S. 235 ff.

[4]) A contribution to the glacial Geol. of Tasmania. Quart. J. Geol. Soc., Bd. 69. London; cf. *W. V. Legge*, A physiographical account of the Great Lake, Tasmania. Rep. Australasian Assoc., N. Sydney 1904.

[5]) Trans. of the New Zealand Institute, Vol. 30.

[6]) The cold lakes of N. Z. Scott. Geogr. Mag., 1887.

[7]) A bathymetrical survey of the lakes of N. Z. G. J., 1904.

(440 *m*) erheblich überragt. An mittlerer Tiefe steht er freilich dem etwa doppelt so großen Wakatipu nach; beide Seen, die man als Grundmoränenseen anzusprechen hat, sind ausgesprochene Kryptodepressionen: der Boden des Manapouri reicht bis 221 *m* unter dem Meeresspiegel. Lake Taupo und der nur 37 $km^2$ große Rotoiti scheinen tektonischen Ursprungs zu sein, Waikare und Whangape sind eigentlich nur große Sümpfe, während Waikare Maona, der die Größe des Starnbergersees, aber seine doppelte Tiefe besitzt, ohne Zweifel ein ertrunkenes Tal ausfüllt. Auf den auf der Nordinsel gelegenen 127 *m* tiefen Rotomahana, der erst im Jahre 1886 durch einen Ausbruch des Vulkans Tarawera an einer Stelle entstand, wo sich vorher nur ein kleiner seichter See befand, macht der Direktor der N. Z. Geogr. Survey *J. Mackintosh Bell* (Bull. Philadelphia Geogr. Soc., Bd. VII, 1909) aufmerksam. Die zahlreichen Seen der neuseeländischen Alpen auf der Südinsel sind durchweg Moränenstauseen. Über die Seen des Waitakigebietes liegt aus neuester Zeit eine Arbeit von *A. E. Kitson* und *E. O. Thiele* vor[1]), welche der glazialen Ursache dieser Seen nur eine sekundäre Bedeutung beimißt, in dem Sinne, daß das Terrain bereits am Ende des Pleistocäns, also zu derselben Zeit, in welche auch die Bildung der Seen von Neuholland und Tasmanien fällt, die Seenbecken enthielt, die dann später im Diluvium nur eine Erweiterung erfuhren. Dieselbe Ansicht vertritt auch *Percy Morgan*.[2]) Von den 3 Seen des genannten Flußgebietes ist nur die Tiefe des Tekapo bekannt, welche der Oberfischmeister von Neuseeland, *L. F. Ayson*, zu 115 *m* angegeben hat; die Tiefen der beiden anderen Seen, des Pukaki und Ohan, sind wahrscheinlich davon nicht sehr verschieden. Eingehende limnologische Untersuchungen dieser interessanten Gebirgsseen wären sehr wünschenswert.

Im nördlichen Teil von Holländisch-Neuguinea hat Kapt. *Sachse* den bereits im Jahre 1893 entdeckten Sentanisee neu aufgenommen und eine Tiefenkarte in 1 : 100.000 publiziert.[3]) Die größte Tiefe beträgt 54 *m* nahe seinem westlichen Ende, die mittlere dürfte höchstens 20 *m* sein. Er hat eine langgestreckte Form, ist buchten- und inselreich. Sein Areal stellte ich planimetrisch auf rund 100 $km^2$ fest; seine Meereshöhe beträgt 74 *m*. Über seine Entstehung ist noch nichts bekannt. An gleicher Stelle wird der gleichfalls in Neuguinea gelegene Kamaka Wallar beschrieben, ein Katovothrensee gleich dem ehemaligen Neusiedlersee; sein Wasserstand unterliegt großen Schwankungen: 1820 stand er tief, 1859 hoch, 1901 hoch, 1906 erheblich tiefer, eine periodische Gesetzmäßigkeit ließ sich noch nicht feststellen.

## Afrika.

Unter den Seen Afrikas hat wohl keiner so das allgemeine Interesse der Forscher und Entdeckungsreisenden erregt als der Tsadsee, von dem

[1]) The geography of the upper Waitaki-basin, N. G. J., Vol. 36, 1910; cf. *Julius v. Haast*, The geology of the province Canterbury and Westland. Christchurch 1879.

[2]) The formation of glacial valleys and lakes in N. Z. Adelaide 1907.

[3]) Tids. Nederl. Aardr. Genots, 2. Serie, 1910, Vol. 27.

man bis in die neueste Zeit annahm, daß er den tiefsten Teil des Sudangebietes einnehme, bis *A. Marquardsen*[1]) jüngst durch eine Reihe Aneroidablesungen und Siedepunktsbestimmungen nachzuweisen sich bemüht hat, daß dies nicht der Fall ist, sondern daß die Ansicht *Nachtigals*, jene tiefste Stelle des abflußlosen Gebietes liege weiter östlich, die richtige ist. Im Gegensatz zu sonst herrschenden Anschauungen kommt *Marquardsen* zu dem Ergebnis, daß der See nicht etwa den Rest einer ehemaligen Meerbedeckung — wogegen schon der äußerst geringe Salzgehalt seines Wassers spricht — oder eines größeren Landsees bedeute, der infolge des trockenen Klimas Zentralafrikas mehr und mehr zusammenschrumpfe, sondern daß er vielmehr entstand, als nach Ausfüllung der südlicheren Becken der Schari und seine Nebenflüsse ihr Wasser in Flußbetten ansammelten und allmählich nach Norden führten. Am Ostende des heutigen Sees wurde die Ausflußöffnung nach und nach verstopft, so daß ein Abdämmungssee entstand, für welchen das Bett des Wadis nicht mehr ausreichte. Infolgedessen wurden die flachen Ränder des Tales überflutet und der Tsadsee nahm seine heutige Gestalt an. Die französische Grenzexpedition, welche in den Jahren 1907/08 namentlich die Gegenden im Norden und Nordosten des Sees unter General *Tilho* erforscht[2]) und eine Karte des Sees in 1:500.000 entworfen hatte, unterscheidet 4 Zonen im See; eine völlig ausgetrocknete Zone nördlich vom Parallel der Mündung des Komadugu-Yobe, welche westlich von 30—40 Fuß hohen Dünen eingefaßt ist: eine morastige Zone, welche etwa $^1/_3$ des gesamten Seegebietes einnimmt und namentlich den Osten umfaßt: sie ist mit einer großen Zahl tiefer und breiter Wasserrinnen durchsetzt und geht teilweise in ein trockenes Plateau von schwarzem Lehm über: eine schiffbare Zone, welche in 2 Teile zerfällt, eine im südlichen Abschnitte von dem Gestade von Kuka gegen Osten, etwa 60 bis 80 $km^2$ groß, und eine größere von der Mündung des Schari nach allen Seiten hin, ca. 1800 $km^2$ groß und von der kleineren durch fast undurchdringliche Ambatschwaldungen getrennt und endlich eine Lagunenzone, eine wirr untereinander verschlungene Masse von engen und seichten Rinnen, durch welche 3 befahrbare Wasserstraßen führen; sie ist hauptsächlich der Küste von Kanem vorgelagert. Im letzten Teil befinden sich auch einige größere und bewohnte Inseln mit einer Erhebung bis zu 50 Fuß. *Marquardsen*, welcher früher einmal[3]) das Areal des Sees auf 21.000 $km^2$ geschätzt hatte, wovon 1000 auf Inseln, 15.000 auf offenes Wasser, 5000 auf durchwachsenes Wasser an Nord-, West- und Südufer, das selten eine größere Tiefe als 1—$1^1/_2$ $m$ erreicht und zur Niedrigwasserzeit gewöhnlich trocken liegt, bemängelt die Aufstellungen der *Tilho*schen Karte als un-

[1]) Oberflächengestaltung und Hydrographie des saharisch-sudanesischen abflußlosen Gebietes. P. M., 1910, H. 1.

[2]) Documents scientifiques de la Mission, Vol. 1. Paris 1810; cf. le Tchad et les pays-bas du Tchad, la Géographie, Vol. 21, 1910 und the french mission to lake chad. G. J., Vol. 36, 1910.

[3]) Mitteilungen aus den deutschen Schutzgebieten, XVIII, Berlin 1905.

zuverlässig und findet namentlich den Längenunterschied Kuka—Scharimündung um 10 Bogenminuten zu wenig; seine Ausstellungen beziehen sich wahrscheinlich aber nur auf die ältere in der La Géographie 1906 publizierten Karte *Tilhos*, während ihm die neueste Karte vom Jahre 1910 noch nicht vorgelegen zu haben scheint. Seine eigenen Ausführungen werden wiederum lebhaft in der Januar-Februarnummer der Zeitschrift La Géographie (1911) angegriffen und *Tilho* Messungen, der die Meereshöhe des Sees zu 243 *m* bestimmte, durchaus in Schutz genommen. Das eine scheint aus den Berichten französischer, deutscher und englischer Forschungsreisender sicher hervorzugehen, daß der Umfang des Sees nicht nur sehr großen säkularen, sondern auch großen jährlichen Schwankungen unterliegt und daß die Beobachtungen der Reisenden in einem Jahre durch diejenigen anderer im darauffolgenden Jahre über den Haufen geworfen werden können.[1])

Das interessanteste Problem, das der Tsadsee der Seenforschung zu lösen aufgibt, ist unbedingt die Beantwortung der Frage: Trocknet er langsam aber sicher aus, oder ist sein Wasserstand nur gewissen Schwankungen unterworfen, wie so viele andere abflußlose Seen auch. Fanatiker der Austrocknungstheorie der Erdoberfläche pflegen mit Vorliebe gerade den Tsadsee als schlagendstes Beispiel für ihre Theorie anzuführen und verweisen besonders auf seine scheinbare Einschrumpfung in neuerer Zeit. Nun wollen an und für sich Zahlenangaben von 27.000 $km^2$ bei Niedrigwasser, 35, 40, ja 50.000 $km^2$ bei Hochwasser, wie sie sich bei *Nachtigal*[2]) finden, gegenüber den Arealzahlen der neueren französischen Forscher[3]), welche ihm zur Zeit seines niedrigen Wasserstandes nicht mehr als 10.000, seines höchsten Wasserstandes vom Oktober bis Januar höchstens 18—20.000 $km^2$ geben, nicht viel sagen, denn jene hohen Zahlen bei *Nachtigal, Barth* u. a. sind gar nicht kontrollierbar aus dem einfachen Grunde, weil sie nur auf Schätzungen, keineswegs auf genauen Messungen beruhen. Eine allgemeine Einschrumpfung seit den Zeiten des ersten Bekanntwerdens des Sees durch *Denham* im Jahre 1823 bis etwa zum Jahre 1902 ist schon aus dem Grunde ziemlich unwahrscheinlich, weil der Kranz der Ortschaften um das Süd- und Westufer genau der gleiche geblieben ist wie vor 80 Jahren und der Verfall einiger anderer Städte nicht auf klimatische, sondern auf politische Ursachen zurückzuführen. Allerdings hat der See an seiner Osthälfte etwa in den letzten 20—30 Jahren erheblich an Tiefe und überhaupt an Inhalt abgenommen, dafür ist er aber wahrscheinlich gegen Westen weiter vorgedrungen als

[1]) Vgl. *H. Freydenberg,* Étude sur le Tchad et le bassin du Chari. Paris 1908, welches Buch wohl den besten historischen Überblick über die Geschichte des Sees seit seiner Entdeckung durch Europäer gibt und nur einer guten Übersichtskarte entbehrt.

[2]) Sahara und Sudan. 1881, Bd. II, S. 123.

[3]) Mouvement Géographique. 1904, S. 614; La Géographie, Bd. XII, Nr. 5, 15. Nov. 1905, G. J., Januar 1904, Zeitschr. d. Ges. f. Erdkunde, 1905, S. 38 u. 318; P. M., 1906, L. B., Nr. 519 u. 522.

früher. Um dies zu verstehen, müssen wir etwas näher auf seinen Wasserhaushalt eingehen. Dieser wird einerseits durch die örtlichen Niederschläge ($^1/_{10}$) und die Wasserzufuhr durch die Nebenflüsse ($^9/_{10}$), andrerseits durch die intensive Verdunstung (im Jahre 1908: 1860 *mm*) und teilweise Versickerung bestimmt.

Im wasserreichen Jahre 1908 wurde ihm durch den Schari etwa 40 $km^3$ Wasser, d. i. etwa $^1/_5$ des Donaudebits, zugeführt; in normalen Jahren beträgt die Zufuhr etwa 24 $km^3$, die Zufuhr der übrigen Ströme ergibt zusammen etwa nur $^1/_{60}$ dieses Quantums. Dieser Zufuhr steht ein Wasserverlust entgegen, welche sich einander nicht immer die Wage halten, weil das Klima in jener Gegend ganz gewaltigen jährlichen Schwankungen unterliegt. Es ist daher sehr natürlich, daß in manchen Jahren der See sich ausdehnt, in anderen stark zusammenschrumpft und es kommt ganz darauf an, in welchem Jahre ein Reisender ihn besucht, um ihm die Vorstellung eines Verschwindens des Sees zu verschaffen oder nicht. *Tilho* a. a. O. hat aber darauf aufmerksam gemacht, daß der schwankende Umfang des Sees nicht bloß in klimatischen Ursachen zu sehen ist, sondern auch von der Veränderlichkeit in der Richtung und besonders der Stärke des Windes abhängt.

Starker Wind kann vom West- und Südufer, die sich besonders durch Flachheit auszeichnen, ein derartiges Zurück- und Wiederhervortreten des Sees veranlassen, daß man glauben möchte, er habe Gezeiten. Oberst *Jackson* [1]), der Leiter der englischen Abteilung der Yola-Tsadsee-Grenzexpedition, bemerkt ausdrücklich [2]), daß der Nordostwind jedesmal massenhaft Wüstensand in den See hineinwehe und große Wasserstrecken zudecke, welche wieder offen wurden, sobald der Wind aus entgegengesetzter Richtung wehe, und *Passarge* konstatierte ein allmähliches Vordringen gegen Westen und ein Flacherwerden im Osten durch eingewehten Sand und Schlamm. Ich verstehe dann aber nicht, warum der See in diesem Falle nicht schon längst seinen Platz ganz verändert hat, wie z. B. der Lop-Nor in Asien. *Marquardsen* a. a. O. glaubt, daß mit der Entstehung des neuen Tsadsees auch ein feuchteres Klima Hand in Hand gegangen sei und erklärt daher z. B. die Inseln im See als Rücken ehemaliger Dünen, woraus dann der Schluß zu ziehen wäre, daß, wenn allmählich die Ursachen, welche die Entstehung des Sees begünstigten, an Intensität wieder nachließen, auch eine große Trockenheit der Gegend und so eine langsame Einschrumpfung des Sees eintreten müßte. So plausibel an und für sich das Raisonnement erscheinen mag, so fehlt es ihm jedenfalls an Beweiskraft für eine so entschiedene und schnelle Austrocknung des Tsadsees im Sinne der Austrocknungsfanatiker und wir dürfen vielmehr wohl ganz in *Marquardsens* Sinne uns dahin entscheiden, daß der Tsadsee, unbeschadet der Möglichkeit einer Austrocknung in einer späteren Zukunft, gewissen periodischen Schwan-

[1]) G. J., Juliheft, 1905; cf. *A. Boyd, H. H. Johnston, C. F. Close*, The mapping of lake Chad. G. J., Vol. 31, 1908.

[2]) Die Oberflächengestaltung von Kanem. P. M., 1904, H. 9.

kungen seines Wasserstandes unterworfen ist, deren Länge wir einstweilen nicht kennen und keineswegs notwendig mit der Lage und Länge der *Brückner*schen Periode übereinzustimmen braucht. Äußerst wertvolles Material für die Lösung des Tsadseerätsels werden die meteorologischen Stationen an seinen Ufern liefern, mit deren Errichtung man vor kurzem begonnen hat.

Über das große ostafrikanische Seengebiet besitzen wir eine sehr gute Zusammenstellung von Prof. Dr. *Hans Meyer* im ersten Band seines Werkes „Das Deutsche Kolonialreich", Leipzig 1909, in dem Deutschostafrika behandelnden ersten Abschnitt: sie behandelt natürlich in erster Linie unser Deutsches Schutzgebiet, berücksichtigt dabei aber auch das Seengebiet außerhalb der deutschen Grenzpfähle und zeichnet sich außerdem noch durch ein sehr reichhaltiges Literaturverzeichnis aus, das bis zum September 1909 reicht.

Von dem größten See Afrikas, dem Victoria Njansa, besitzen wir seit einiger Zeit durch *Whitehouse*[1]) eine Umrißkarte, das Werk mühevoller Arbeiten durch mehrere Jahre, welche auch alle von ihm gemachten Lotungen zu enthalten scheint. Aus praktischen Gründen beschränken sich dieselben fast ausschließlich auf das Küstengebiet, besonders des nördlichen zu England gehörigen Teiles. Stellenweise treffen wir in der Entfernung von 10—20 *km* vom Ufer Tiefen bis zu 60 *m*, aber wie die wenigen Peilungslinien durch den See hindurch, z. B. von Bukassa nach den Uging Islands an der Ostküste, die auch durch die Lotungen von *Berson*[2]) auf einigen Querfahrten durch den See bestätigt worden sind, zeigen, ist er wahrscheinlich in der Mitte auch nicht viel tiefer (tiefste Stelle nach *Whitehouse* 69 *m*, nach *Berson* 72 *m*) und die Angaben *Stanleys*, welcher 580 Fuß, also etwa 179 *m* gelotet haben wollte, dürften auf falschen Messungen beruhen. Die zahlreichen Buchten des Sees sind, soweit dies bisher bekannt ist, durchweg sehr flach, meist nur 10—20 *m* tief, der zu Deutschland gehörige Spekegolf ist bislang nur unvollkommen ausgelotet.

Der See ist also ein verhältnismäßig sehr seichtes Becken mit einem wahrscheinlich sehr ebenen (?) Plafond und stellt demgemäß ein langsam in die Tiefe gesunkenes Gebiet zwischen zwei Horsten im Süden und Norden dar. Auf Faltungen und Einbrüche weisen auch seine zahlreichen Buchten und Inseln hin, ebenso die teilweise außerordentliche Steilheit der Küsten, die sich durch Erosion allein nicht erklären läßt. Damit stehen offenbar auch die rezenten Bewegungen an seinen Ufern im nahen Zusammenhang, über welche *Lyons*[3]) berichtet. Durch die drei im englischen Gebiet am

[1]) Victoria Njansa. Northern portion, surveyed by Commander *B. Whitehouse* and Mr. *C. S. Hunter* 1900/01. London 1902; Southern portion, German East Africa, surv. by *B. Whitehouse* 1902/06. London 1908.

[2]) *A. Berson,* Bericht über die aerologische Expedition des kgl Aeronautischen Observatoriums nach Ostafrika im Jahre 1908. Braunschweig 1910. Derselbe: Aerologische Forschungsreise nach Ostafrika. P. M., 1909, 2.

[3]) Earth-Movements at Lake Victoria. Cairo Scientific Journal. Vol. II. N. 26. Alexandria 1808.

Victoria Njansa aufgestellten Pegelstationen in Entebbe in der Nordweststrecke, Jinga im äußersten Norden am Ausfluß des Nils und im Hintergrunde des Kavirondogolfs in der Nähe des Endpunktes der Ugandabahn, die täglich abgelesen wurden, waren besonders in den Jahren 1897—1901 Niveaudifferenzen in Entebbe beobachtet worden, die weder durch Wind noch durch Seiches, noch durch örtliche Niederschläge sich erklären ließen, sondern nur durch Hebungen und Senkungen der Erdkruste am nordwestlichen Ufer des Sees. Im Frühling 1901 betrug der Niveauunterschied zwischen Entebbe und Jinga über $^1/_2$ *m* zugunsten von Entebbe. Leider wurde im Juni 1901 der dortige Pegel zerstört. Im Februar 1908 wiederholte sich das Ereignis im verstärkten Maße und setzte sich auch noch im Frühjahr und Sommer jenes Jahres, wenn auch abgeschwächt, fort. *Craig*[1]) bestreitet allerdings die Tatsache, da er bei Riponfalls keine Hebung bemerkt haben will.

Nördlich vom Victoriasee liegt der vielzackige, bis 9 *m* tiefe Kioga- oder Chogasee, dessen Gestalt und Lage auf der Karte seit seiner ersten Entdeckung durch *Long* (1874) viele Änderungen erfahren hat. Die in der offiziellen Generalstabskarte von Britisch-Ostafrika (Uganda) aufgenommene Karte des Sees (1901) ist nach den neuen topographischen Aufnahmen des Leutnant *Fishbourne*[2]) vom Jahre 1908 nicht frei von beträchtlichen Irrtümern. Der Nil durchfließt ihn nicht neben dem Sezina, sondern mit ihm vereinigt. Ein Zusammenhang des Kiogasees mit dem Salisburysee und dem Kwaniasee erscheint ausgeschlossen.

In nördlicher Fortsetzung des ostafrikanischen Grabens treffen wir bis zum Südabhang des Abessinischen Hochlandes (siehe S. 32) eine ganze Reihe von Seen, die sämtlich uns jetzt nur sehr mangelhaft bekannt sind. Der bei weitem größte von ihnen ist der ca. 8000 $km^2$ große, 840 *m* hoch gelegene Rudolfsee, von den Eingeborenen Basso-Norok = dunkler See genannt. Er ist abflußlos, besitzt infolgedessen schwach salziges Wasser und liegt in einer sandigen Wüste. Systematische Lotungen und weitere hydrographische Untersuchungen sind bis jetzt meines Wissens noch nicht vorgenommen worden. Man nimmt nur allgemein an, daß er sehr seicht und höchstens 8 *m* tief ist. Seit den Mitteilungen von *Smith*[3]) und *Harrison*[4]) haben auch die neueren Arbeiten von *Escherich*[5]), *Bland-Sulton*[6]) und *Fr. Bieber*[7]) keine exakten Daten nach irgend welcher Richtung geliefert. Westlich von ihm liegt der in schneller Austrocknung begriffene etwa 900 $km^2$ große bis 8 *m* tiefe Stephaniesee (Basso-Abor = weißer

[1]) Earths Movements at Lake Victoria. Ibid., N. 31. Alexandria 1909.

[2]) Lake Kioga (*Ibrahim*). Exploratory Survey 1907/08. G. J., Vol. 33, 1909; vgl. *R. Kirkpatrick*, Lake Chioga and surrounding country. G. J., Vol. 13, 1899.

[3]) An Expedition trough Somaliland to lake Rudolf. G. J., Vol. 8, 1896.

[4]) An Expedition between lake Rudolf and the Nile. G. J., Vol. XVI, 1894. A journey from Zeila to lake Rudolf. G. J., Vol. XVIII, 1900.

[5]) Im Land des Negus. Berlin 1911. S. 165 ff.

[6]) Man and Beast in Eastern Ethiopia. London 1911. p. 249 f.

[7]) Reise durch Äthiopien. Mitt. d. Geogr. Ges. Wien 1910. Bd. 53.

See), der möglicherweise in einer nicht lange zurückliegenden Zeitepoche mit ihm verbunden gewesen sein mag. Sehr wahrscheinlich ist es, daß die Seenreihe nordöstlich vom Stephaniesee vom 1100 *km*² großen Abaisee bis zum 475 *km*² großen Suaisee, von denen sich der Ganjulesee (500 *km*²) durch seine schöne blaue Farbe und alpinen Charakter vorteilhaft vor den übrigen auszeichnet, Teile eines größeren Sees sind, der noch zu Beginn der Diluvialzeit bestanden haben mag. Wenigstens fand *Oscar Neumann*[1]) im Sucksuckfluß Schichten mit Mollusken in 30 *m* über den jetzigen Wasserstand der Seen, die jetzt noch in den Seen Langama und Ganjule existieren. Das Wasser des Ganjule ist süß, das des Langama schwach salzig.

Östlich vom Victoria Njansa liegen im ostafrikanischen Graben oder besser gesagt Bruchstufe, mit welcher uns zuletzt *Uhlig*[2]) und *Jäger*[3]) näher bekannt gemacht haben, eine ganze Reihe von Seen, welche abflußlos sind, weil das Maß der Verdunstung erheblich stärker als das des Zuflusses ist. In ganz trockenen Jahren trocknen auch sie vollständig aus und verwandeln sich in Sümpfe oder in staubige Salzsteppen. Die größten sind der etwa 1000 *km*² große Natronsee[4]) und der nicht viel kleinere Manjarasee. Die Böden namentlich des Natronsees sind mit einer harten Masse bedeckt, welche rosigem Marmor gleicht, es sind das gewaltige Ablagerungen von Soda, welche bei Bohrversuchen eine recht erhebliche Mächtigkeit zeigten, so daß man begreift, daß eine englische Gesellschaft eine Abzweigung von der Ugandabahn zum Natronsee plant, um diese gewaltigen Bodenschätze auszubeuten. Westlich von der großen Grabensenke haben die oben genannten deutschen Reisenden noch eine ganze Reihe weiterer meist nur flacher Seen entdeckt, deren Wasserstände einst zu einer Pluvialzeit weit höhere waren als jetzt, wo sie im Sommer meist austrocknen.

Zwischen dem Natronsee und dem Manjarasee liegt das Hochland der Riesenkrater mit den kolossalen, je einen See einschließenden Kraterkesseln des Elaneirobi (7 *km* Durchmesser) und des Ngoróngoro (20 *km* Durchmesser), des bei weitem größten, den wir bisher auf der Erdoberfläche kennen; ihre ebenen Boden werden von steilen 500—800 *m* hohen Wänden umschlossen. Über die Tiefe dieser Kraterseen ist noch nichts be-

[1]) From the Somali East trough Southern Ethiopia to the Sudan. G. J., 1902, Vol. 20.

[2]) *C. Uhlig*, Der sogenannte Große ostafrikanische Graben zwischen Magad und Laua ya Mueri in den Verhandlungen des 16. Deutschen Geographentags zu Nürnberg, Berlin 1907 und unter demselben Titel (kürzer behandelt) in G. J., 1907. Derselbe: Die ostafrikanische Expedition der Otto Winter-Stiftung. Zeitschr. d. Ges. f. Erdk. zu Berlin 1908.

[3]) *J. Jäger*, Reiseberichte an die landeskundliche Kommission in den Mitt. aus den deutschen Schutzgebieten 1906/07. Vgl. Jahresber. d. Ver. f. Erdk. zu Leipzig 1907: Zeitschr. d. Ges. f. Erdk. zu Berlin 1908.

[4]) Nach *G. E. Smith*, From the Victoria Njanza to Kilimandjaro, G. J., Vol. 31, Märzheft 1907 ist der Sodasee nur etwa 250 *km*² groß.

kannt, voraussichtlich ist sie nur gering. Östlich vom Victoria Njansa, im mittleren Ostruanda, entdeckte im vergangenen Sommer der auf einer neuen Forschungsreise begriffene Prof. *Hans Meyer* einen bisher unbekannten See, über den er in den „Mitteilungen aus den deutschen Schutzgebieten" schreibt: „Zwei Tage westlich von Migera sahen wir plötzlich die dort 1600—1700 *m* hohen Plateaurücken nach Norden zu einem kolossalen, etwa 20 *km* weiten Kesselbruch mit steilen Wänden 300—400 *m* tief abstürzen und in der hügeligen Tiefe des Kessels einen ostwestlich über die ganze Breite des Kessels sich erstreckenden See liegen, mit vielen Buchten und Inseln. Nach Norden öffnet sich der Kessel in die Niederung des Kagera, von wo ebenfalls große Wasserflächen heraufblinkten, wahrscheinlich der Ihmesee *Stanleys*, aber Einzelheiten waren in der dunstigen Ferne nicht zu erkennen. Allem Anschein nach ist auch der neuentdeckte See, den die Eingeborenen Kihonda oder Kihonde nennen, nur ein ins Hügelland eingedrungenes Hinterwasser des Kagera." Noch viele Seen von Ruanda harren übrigens der Auslotung und näheren Untersuchung; der größte von ihnen scheint der etwa 80 $km^2$ große Ndorwasee, auch schlechthin Ngasi (Wasser) genannt; sie sind meist vulkanische Stauseen.[1]) Am Fuß des Meru südwestlich vom Kilimandjaro breitet sich eine Seenplatte aus, welche nach *F. Jäger*[2]) lebhaft an unsere baltische Seezone erinnert und auch in ihrer Entstehung von gleichen Ursachen bedingt ist. Der größte der 14 Seen dieser Gegend ist etwa 49 $km^2$ groß und wird bis 58 *m* tief; die Uferwände erheben sich steil 40 *m* über sein Niveau. Sämtliche Seen sind stark salzhaltig.

Der Kiwusee[3]), der kleinste der 4 großen ostafrikanischen Seen, ca. 5000 $km^2$, der in den Grenzstreitigkeiten zwischen Britisch- und Deutschostafrika einerseits, dem belgischen Kongostaat andrerseits bis auf den heutigen Tage eine gewisse Rolle spielt, füllt den Kulminationspunkt des zentralafrikanischen Grabens aus (seine Meereshöhe beträgt 1455 *m*). Zurzeit wässert er durch den Rusisi zum Tanganjika ab, doch liegen ziemlich sichere Zeichen vor, daß er in früherer Zeit mit dem nördlich von ihm gelegenen, 4320 $km^2$ großen Albert Edwardsee, der neuerdings den Namen Edwardsee erhalten hat, um ihn vom etwas größeren Albertsee

[1]) Hauptmann *v. Beringe*, Bericht über eine Expedition nach Ruanda. Deutsches Kolonialblatt, 1910.

[2]) Der Meru. Geogr. Zeitschr., Bd. XII, S. 241 ff. Leipzig 1906. Seine größere Publikation über diesen Gegenstand im Ergänzungsheft 4 aus den Mitt. über die deutschen Schutzgebiete, Berlin 1910, behandelt zunächst nur die Karte der Gegend und ihre Herstellung; auch von *Uhligs* Publikation im Ergänzungsheft 2 ist bis jetzt nur die Karte erschienen; cf. *Johannes*, Über die Seen zwischen dem Kilimandjaro und Meru. Mitt. aus dem deutschen Schutzgebiet, XI, Berlin 1898 und *Merker*, Über die Entdeckung zweier neuer Seen zwischen dem Kilimandjaro und Meru. Ibid., IX, 1896.

[3]) *A. von Bockelmann*, Versuch einer Monographie des Kiwusees und seiner Umgebung als Begleittext zu Dr. *Kandts* Karte. Beiträge zur Kolonialpolitik und Kolonialwirtschaft, Bd. III, Berlin 1901/02; cf. *Baccari*, I grandi laghi africani. Boll. Soc. Geogr. Ital., 1905.

leicht unterscheiden zu können (G. J., Bd. 34, 1909), in engem Zusammenhang gestanden hat. Darauf deutet schon die große Ähnlichkeit der Fauna beider Seen hin[1]), während die Fauna des Kiwusees von derjenigen des Tanganjika sehr verschieden ist. Fraglich ist, ob man mit *Moore* (siehe unten) annehmen soll, daß die ganze Grabensenke vom Südende des Kiwu bis zum Nordende des Albertsees einst ein großer See gewesen ist, oder mit *Kirschstein*[2]), dem Geologen der Expedition des Herzogs *Adolf Friedrich* von Mecklenburg, die nördliche Grenze dieses Sees nur etwa 45 *km* nördlich vom Edwardsee festsetzen soll. *Hans Meyer* führt in seinem Deutschen Kolonialreich, Bd. I, Ostafrika, S. 339 gegen diese Behauptung den großen Höhenunterschied im Niveau der genannten Seen (Kiwu 1455 *m*, Edwardsee 900 *m*, Albertsee 640 *m*) ins Feld; da aber erwiesenermaßen die Vulkane zwischen dem Kiwu und Edwardsee sehr jungen Datums sind, die Erhebung zwischen beiden Seen für sich also nicht gegen eine frühere Verbindung spricht, ferner sichere Anzeichen vorhanden sind, daß namentlich der Spiegel des Edwardsee früher weit höher gestanden haben muß, so möchte ich mich wenigstens für die Ansicht von *Kirschstein* aussprechen. Bestärkt werde ich in dieser Anschauung durch den Nachweis, die *Lyons* in seiner „Physiography of the River Nile and its basin, Cairo 1906" geliefert hat, daß nämlich der Wasserreichtum des Nils in vorhistorischer Zeit weit größer gewesen sein muß als später. Der See, der durch seine fjordartig eingeschnittenen Ufer des Ostrandes und die ihm vorgelagerten Inseln lebhaft an die norwegische Küste erinnern soll[3]), während, wie im ganzen zentralafrikanischen Graben, der Westrand viel einfacher gegliedert ist, scheint wie alle übrigen ostafrikanischen Seen zurzeit im Wasserstande zu sinken, doch steht noch keineswegs fest, daß wir es hier mit einer dauernden Austrocknung zu tun haben, vielmehr muß erst eine längere Zeitperiode abgewartet werden, um diese Frage definitiv entscheiden zu können. Die Tiefenverhältnisse sind bis jetzt, weil geeignete Fahrzeuge fehlen, nur sehr mangelhaft bekannt; die tiefste Rinne scheint sich im östlichen Tal zwischen der Insel Kwidjiwi und der Ostküste zu befinden: die Engländer wollen Tiefen von 600 Fuß gelotet haben, was angesichts der steilen Ostküste durchaus nicht unwahrscheinlich ist. Das sehr harte Wasser zeichnet sich durch große Durchsichtigkeit aus.

Der Tanganjika ist in den letzten 10 Jahren besonders auf die Frage untersucht worden, ob er ein Reliktensee sei. *J. E. J. Moore*[4]), wel-

[1]) *H. Schubotz,* Vorläufiger Bericht über die Reise und die zoologischen Ergebnisse der deutschen Zentralafrikanischen Expedition 1907/08 in den Sitzungsberichten der Gesellschaft naturforschender Freunde, Nr. 7. Berlin 1909.

[2]) *E. Kirschstein,* Geologisches von der Expedition Sr. Hoheit des Herzogs von Mecklenburg. Mitt. aus den deutschen Schutzgebieten, 1908.

[3]) Vgl. die Schilderung von *Kandt* im Globus. Bd. 86, 1904.

[4]) *Moore,* The physiographical features of the Nyansa and Tanganjika Districts. G. J., 1897. Derselbe: On the Zoological Evidence for the Connection of lake T. with the Sea. Proc. Roy. Soc. London 1898. The Molluscs of the Great African lakes. Quart. Journ. Micro. Sci. London 1898—1899. The Tanganjika problem: An account of the

cher in den 90er Jahren des verflossenen Jahrhunderts den Tanganjika und die anderen großen Seen des innerafrikanischen Grabens untersuchte, hatte angenommen, daß die Fauna des Kongobeckens z. B. an Fischen und Schwämmen noch heute gewissen Formen im Tanganjika entsprächen und nur hier, aber nicht in den anderen großen innerafrikanischen Seen vorkämen. Im Jahre 1902 berichtete aber *Kandt* von ähnlichen Quallen im Kiwusee. 1903 *Allnand* und *Hobley* unabhängig voneinander im Victoria Nyansa von gewissen Medusen, die sich von der Limnoclida Tanganjika nicht unterscheiden und endlich ist diese von *Budgett* auch im Niger gefunden, so daß sie für die tropisch afrikanischen Gewässer überhaupt typisch zu sein scheint. Die nach *Moore* ausgesandte dritte englische Tanganjika-Expedition 1904/05, welche von *Cunnington*[1]) geführt wurde, fand, daß die Tierwelt am See durchaus nicht halolimnische Relikten aus der Zeit des Jura seien, sondern das Ergebnis einer Entwicklung und Spezialisierung während einer sehr langen Periode, in welcher der See gänzlich isoliert war. Diese Tatsache hindert natürlich nicht anzunehmen, daß der See einst durch den zentralafrikanischen Grabenbruch mit dem Meer in südlicher oder nördlicher Richtung im Zusammenhang gestanden hat, der später durch tektonische Veränderungen und vulkanische Erhebungen unterbrochen wurde. Diese Veränderungen dauern in der Form lokaler Hebungen und Senkungen noch heute fort, wie vulkanische Ausbrüche, Niveauverschiebungen der Küste an verschiedenen Stellen, Strandterrassen etc. deutlich zeigen. Auch die merkwürdigen, absolut recht bedeutenden Schwankungen des Sees, welche innerhalb einer Periode, deren Dauer uns noch unbekannt ist, bis zu 4 *m* betragen, weisen darauf hin. Während einer trockenen Klimaperiode sinkt, wenn sie längere Zeit hindurch anhält, das Niveau des Sees unter dasjenige des Lukugaabflusses, wodurch der See seinen Abfluß verliert; in feuchten Perioden wird der natürlich gebildete Abflußdamm im Lukugatal wieder fortgespült und der Abfluß ist wieder vorhanden. Seine Tiefenverhältnisse sind bis jetzt so wenig bekannt, daß noch keine Tiefenkarte entworfen werden konnte. *Giraud*[2]) gibt ihm eine Maximaltiefe von 800 *m*, *Livingstone*[3]) will gegenüber den Bergen von Kabogo, südlich von Ujiji eine Tiefe von etwa 600 *m* gefunden haben und *Moore* (siehe oben) spricht von 400 *m* an seinem Südende.

researches undertaken concerning the existence of marine animals in Central Africa. London 1903; cf. *J. Cornet*, Le Tanganjika est-il un Relictensee? Mouvement Géogr., Bd. XIII. Brüssel 1896; id.: Le Victoria Nyansa est-il un Relictensee? ibid., Bd. 21. Brüssel 1904; *H. Nicholas*, Origine marine de certaines espèces de mollusques, en cours de transformation du lac Tanganjika. C. R. Ass. Française. Paris 1898.

[1]) *A. Smith, W. T. Calman, E. E. Beddard, R. Kirkpatrick*, Zool. Results of the Third Tanganjika Expedition, conducted by *W. A. Cunnington*, Proc. Zool. Soc. London 1906. Vol. I and II; *W. A. Cunnington*, Report of the 3. T. Expedition 1904; *Cambridge*, Christ's Coll. 1905. Vgl. G. J., Vol. 27. 1906.

[2]) Les lacs de l'Afrique équatoriale. Paris 1890.

[3]) Last Journals, Vol. II. London 1874.

Der Rukwasee zeichnet sich von den anderen größeren ostafrikanischen Seen durch sehr starke jahreszeitliche und säkulare Schwankungen seines Wasserspiegels aus, welche, da der See flache Ufer besitzt, ihm außerordentlich verschiedene Arealgrößen verleiht; so soll er im Jahre 1882, als *E. Kaiser*[1]) ihn erblickte, 2300 $km^2$ groß gewesen sein, während *Maurer*[2]) ihn am Ende des 19. Jahrhunderts eine Größe von nur 700 $km^2$ gibt. Nach der Karte, welche *Sprigade*[3]) in 1 : 500.000 herausgegeben hat, war er damals eigentlich nur ein etwa 45 *km* langer, 20 *km* breiter Sumpf, welchem im Nordwesten eine etwa 100 *km* lange und 35—40 *km* breite flache Ebene vorgelagert ist, die unzweifelhaft ein ehemaliger Seegrund ist. Wie schnell die Wasserstände dieses merkwürdigen Sees sich ändern, erkennt man deutlich aus einer Beobachtung des Hauptmann *v. Prittwitz*, welcher in einem Intervall von 2 Jahren einen 2—3 *m* höheren Wasserstand festgestellt hat. Durch den Rukwagraben stand der See mit dem Tanganjika durch das Flußtal des Mkamba und den Kawu, welche heute nicht mehr den See erreichen, in Verbindung; einen typischen Grabenbruch stellt er nur in seiner Südhälfte dar. Nach *Fülleborn*[4]) heißt der See eigentlich Rukuga, während Rukwa der Name der Steppe ist, in welcher er liegt.

Auch der Nyassasee ist ein tektonischer Graben, der von sehr hohen Grabenwänden eingefaßt wird, aber er hängt nicht direkt mit dem großen zentralafrikanischen Graben zusammen, sondern er findet einerseits in der Senke des Rukwasees, andrerseits in der Senke des Ruaha eine Fortsetzung, durch welche letztere einst eine Verbindung der Gräben des Nyassa- und Tanganjikasees bestanden haben mag.

Leutnant *Rhoade*[5]) hat eine Tiefenkarte des Sees in 1 : 1,000.000 entworfen, wonach er eine mittlere Tiefe von 268 *m*, ein Volumen von 8248 $km^3$ besitzt. Die größte Tiefe von 768 *m*, welche *Moore* gefunden haben wollte, konnte *Rhoade* an der betreffenden Stelle nicht wiederfinden; er selbst gibt 706 *m* als Maximaltiefe an, allerdings sind im ganzen nur 370 Lotungen gemacht worden, so daß auf je 83 $km^2$ Durchmesser nur eine Lotung kommt. Bei einer Meereshöhe von rund 468 *m* (siehe S. 30) erreicht also die Kryptodepression des Sees den beträchtlichen Wert von 238 *m*. Seine größten Tiefen liegen im nördlichen Drittel nördlich von der Nkatabay, nahe der Westküste auf englischem Gebiet, das Südende ist wohl flach, doch kommen auch hier Tiefen bis zu 120 *m* vor. Da sich das Ufer von Nordosten bis zu 1755 *m* über dem Spiegel des Sees erhebt, so ergibt sich für den Nyassagraben eine größte Tiefe von ca. 2470 *m*, womit das Becken des Nyassasees die wohl tiefste Einsenkung auf der Erd-

[1]) Reise von Gonda zum Rukwasee. Mitt. afrik. Gesellschaft in Deutschland, Bd. IV. Berlin 1885.

[2]) Deutsch-Ostafrika. Eine klimatologische Studie. Geogr. Zeitschr., 1903, S. 220.

[3]) Begleitworte zu der Karte der Gebiete südlich vom Tanganjika und Rukwasee in den Mitt. aus den deutschen Schutzgebieten, 1904.

[4]) Das deutsche Nyassa- und Ruvumagebiet. Berlin 1906.

[5]) G. J., Vol. XX, Juliheft, 1902.

oberfläche bedeutet, die wir bis jetzt kennen. Es ist recht unwahrscheinlich, daß irgendwo auf der Erde noch stärkere Einsenkungen in Gräben vorkommen, wenigstens dort, wo sie nicht mit Wasser bedeckt sind. Nach *A. R. Andrew* und *T. E. G. Barley*[1]) finden sich Terrassen in 3—9 *m* Höhe, sowie alte Küstenablagerungen (Konglomerate), Kieslager usw., welche auf einen früheren, 200—120 *m* höher gelegenen Seespiegel schließen lassen; die höchstgelegenen Konglomerate sind zum Teil durch Verwerfungen abgeschnitten und gegen 30 *m* abgesunken, was auf sehr energische und noch ganz junge Krustenbewegungen schließen läßt. *Piercy*[2]) bringt eine photographische Nachbildung der Pegelmessungen in den Jahren 1897 und 1905. Danach ist der See während dieser Zeit um etwas über 3 *m* gefallen. Bekanntlich hat schon *Livingstone* bei seinem ersten Besuch dieses Sees im Jahre 1863[3]) auf Strandterrassen von 15 bzw. 40′ über dem damaligen Wasserspiegel in der Nähe des Flusses Misnijé hingewiesen.

Professor *Hans Meyer* erwähnt in seinem letzten Reisebericht, daß er so beträchtlich gefallen sei, daß er zuzeit keinen Abfluß mehr zum Schire besitzt.

Über die Inseln im Nyassasee verbreitet sich *Prager* (Deutsche Kolonialzeitung, 1905, S. 153 f.). Sie steigen wie Bergkegel aus großer Tiefe empor und sind teils die Überreste einstiger kompakter Gebirgsmassen, teils abgeschobene Bergkegel. Die größte von ihnen führt den Namen Likoma und befindet sich nahe dem Westufer an der Südgrenze des deutschen Gebietes.

Die Austrocknung des Schirwasees (südlich vom Nyassasee) — ein Prozeß, der seit mehreren Jahren andauert — scheint jetzt vollzogen zu sein. Nach einer Mitteilung in der Missionszeitschrift „Life and Work in British Central Africa" ist alles, was von ihm von der ehemaligen Insel Mtschifi aus gesehen werden kann, ein Teich an der alten Überfahrtsstelle an der Westseite und kleine, flache Tümpel an den Mündungen der größeren Flüsse.

*C. T. T. Behrens*[4]) hat sich der Mühe unterzogen, die Meereshöhen der wichtigsten ostafrikanischen Seen auf Grund des vorliegenden Materials zu berechnen und kommt zu folgenden Resultaten (von mir in metrisches Maß umgerechnet): Edwardsee 977 *m*, Albertsee 652 *m*, Kiwusee 1461 *m*, Nyassasee 475 *m*, Tanganjika 800 *m*, Victoriasee 1171 *m*. Man darf übrigens nicht vergessen, daß für den Wasserstand dieser Seen der Ort und die Jahreszeit sehr bedeutungsvoll sind, in welcher er gemessen wurde, aber auch das Jahr selbst. So war nach *R. C. Allen*[5]), dem chief surveyor for

[1]) The Geology of Nyasaland. Quart. Journ. Geol. Soc., Vol. 66, 1910; L. B. in P. M., 1911, II, S. 49.

[2]) G. J., 1905, Bd. 26.

[3]) Journ. Roy. Geogr. Soc. London 1863.

[4]) The most reliable values of the heights of the Central African lakes and mountains. G. J., Vol. 29, 1907, pag. 307 f.

[5]) G. J., 1908, Bd. 32, pag. 83.

the Uganda Protectorate, der Wasserstand des Victoriasees bei Entebbe im Jahre 1905/06 3721·75 engl. Fuß = 1135 *m*, des Albertsees bei Butiaba zu gleicher Zeit 619 *m*: die Differenz beider betrug also 516 *m* gegen 519 *m* oben(!).

Der Bangweolo- oder Bangweulusee scheint zu denjenigen Seen des östlichen Zentralafrikas zu gehören, welche die größten Veränderungen ihres Umfanges seit ihrer ersten Bekanntschaft durch Europäer durchgemacht haben. *Livingstone*, welcher ihn vor 40 Jahren gelegentlich seiner Nyassaforschungen besuchte[1]) und daselbst auch seinen Tod fand, schildert ihn als eine mächtige offene Wasserfläche mit der größten Ausdehnung in nordsüdlicher Richtung.

Nach *Girauds* Mitteilungen[2]) gestaltet sich sein Umfang ziemlich anders und wesentlich kleiner: *Weatherley*[3]) fand nirgends größere Tiefen als 5 *m* und im Osten und Süden ausgedehnte Sumpfflächen, durch welche der Chambesi, nicht mit dem großen Fluß Zambesi zu verwechseln, sich hindurchschlängelt, um sich teils in den See, teils direkt in seinen Abfluß, den Luapula, zu ergießen, den rechten Quellfluß des Kongo. *H. Frank Melland*[4]) hat ihn von 1902 auf 1910 auf 12 Reisen zu Boot genau kennen gelernt. Einer neueren Publikation *Weatherleys*[5]) ist eine Karte des Sees in 1 : 750.000 beigefügt, nach welcher er etwa 2000 $km^2$ groß ist (?).

Sicher scheint festzustehen, daß er sehr viele Inseln besitzt, die dicht bevölkert sind, ob aber die Möglichkeit besteht, daß in seinem Innern noch Überbleibsel sonst längst untergegangener Tiergeschlechter existieren, welche hier ein durch Menschenkultur noch ungetrübtes Dasein fristen, wie vielfach neuerdings in Zeitungsberichten zu lesen war, mag dahingestellt bleiben, wahrscheinlich ist sie jedenfalls nicht.

Nach Mitteilungen des Oberleutnants *Graetz*, welcher mit einem Motorboot in die Geheimnisse des Sees einzudringen im vorigen Jahre bemüht war[6]), ist seine östliche Nachbarschaft in einer Breite von 5—8 Kanoetagen völlig versumpft und seine Zuflüsse verästeln sich beim Eintritt in das Sumpfgebiet so, daß sie teils sich zu kleinen Seeflächen erweitern, teils überwachsen und verstopft sind. *Graetz* stellt es als unzweifelhaft hin, daß der Chambesi direkt in den See mündet und sich nicht unterhalb des Ausflusses des Luapula in diesen ergießt. Die im Sumpfgebiet lebenden „Watua" sind kein Pygmäenvolk, sondern nur durch niedrige Lebensbedingungen verkümmert.

[1]) Explorations to the West of Lake Nyassa in 1863. Journ. Roy. Geogr. Soc., Bd. 24. London 1864.

[2]) *V. Giraud*, Les lacs de l'Afrique équatoriale. Paris 1890.

[3]) Circumnavigation of lake Bangweolo. G. J., Bd. XII, 1898; Au lac Bangweolo. Mouv. Géogr., Bd. XVII. Bruxelles 1900.

[4]) G. J., Oktoberheft, 1911.

[5]) G. J., 1909, Bd. 34. Auch *S. A. Wallace*, North Eastern Rhodesia, G. J., 1907. Aprilheft, fand, daß er früher viel größer gewesen sein muß.

[6]) Zeitschr. d. Ges. f. Erdk. in Berlin, 1912, Februarheft.

Den in der belgischen Kongokolonie etwa 900 *m* hoch gelegenen und 5000 *km*² großen Merusee hat nach P. M. 1912, Februarheft, Dr. *Stappers* zu untersuchen begonnen und 15 *m* als größte Tiefe gefunden, während die Durchschnittstiefe nur 6—8 *m* beträgt. An seinem Südende hat sich ein gewaltiges Anschwemmungsdelta gebildet, dessen Sandbänke in der trockenen Jahreszeit die Einfahrt in den Fluß sehr erschweren. *Stappers* bezeichnet den See im allgemeinen als einen Sumpfsee.

Der Tanasee, der größte See des abessinischen Hochlandes, ist trotz zahlreicher Forschungsreisen, namentlich von seiten der Engländer und Italiener, bisher wenig beachtet und hydrographisch bearbeitet worden. Die ersten Aufnahmen und Tiefenmessungen stammen von *Stecker*.[1]) Er gab dem See ein Areal von 2980 *km*² und fand als größte Tiefe 72 *m*, doch hat er seine 300 Lotungen sämtlich in einem räumlich nur beschränkten Teil des Sees gemacht, nämlich zwischen der Südküste und der Insel Dega, für den Nordteil vermutete er Tiefen bis zu 200 *m*. Fast 30 Jahre später erst scheinen wieder neue Lotungen unternommen zu sein, und zwar von der Expedition *Tancredi*.[2]) Leider wird in dem kurzen Berichte über dieselbe nur erwähnt, daß sie 546 *m* als Maximaltiefe gefunden hätten; über die Zahl der Lotungen verlautet nichts, auch liegt keine Tiefenkarte vor. Auf der Karte von 1 : 250.000, welche der großen Arbeit von *Jean Duchesne-Fournet*[3]), der übrigens die hydrographische und topographische Kenntnis des Sees durchaus nicht vermehrt hat, habe ich das Areal planimetrisch zu 3100 *km*² gefunden, also etwas größer, als es *Stecker* angegeben hat. Auch über seine Höhenlage gehen die Angaben sehr auseinander. Nach *Rohlfs* beträgt sie 1775 *m*, nach *Abbadie* 1860, nach *Stecker* 1942, nach *Dupuis* 1765, nach *Tancredi* 1830 *m*. Letzterer gibt seinen Umfang zu 260 *km* an und fügt noch hinzu, daß der See durchschnittlich so seicht sei, daß die mittlere Böschung höchstens 1 von Hundert betragen könne. Das Zuflußgebiet, das aus 60 Flüssen zusammengesetzt und 14.000 *km*² groß ist, führen ihm im Durchschnitt täglich $1^1/_2$ Millionen Kubikmeter Wasser zu, während der Abfluß, der sogenannte Blaue Nil, 42 *m*³/Sek. abführen soll. Einem Kredit von $1^1/_2$ Millionen stünde somit ein Debit von $3^1/_2$ Millionen gegenüber, ein Zustand, der ohne Rechenfehler nicht gut möglich ist! Soviel steht übrigens aus den Untersuchungen des englischen hydrographischen Amtes in Ägypten und Uganda fest, daß nicht der Weiße Nil, wie man bisher meist annahm, sondern der Blaue Nil, der Abfluß des Tanasees, als die eigentliche Nährmutter des Riesenstromes anzusehen ist. Die jährlichen Niveauschwankungen sollen 1·25—1·75 *m* be-

[1]) Die *Stecker*sche Expedition. Berichte des Reisenden. Mitt. Afrik. Ges., Bd. III, 1881/82.

[2]) La Missione Italiana al lago Tzana. L'esplorazione commerciale, XXIII. Milano 1908. Das Werk von *A. J. Hayes*, The source of the blue Nile, London 1905, habe ich nicht benutzen können.

[3]) Mission en Éthiopie (1901—1903). Paris 1909. 2 Bde. und 1 Bd. Routen-Karten.

tragen. Die neueste Publikation über Abessinien von *Rathjens*[1]) macht übrigens darauf aufmerksam, daß die Ansichten der Reisenden über die geologische Beschaffenheit der Umgebung des Sees oft diametral auseinandergehen; *Stecker* will Sandsteine und krystalline Schiefer gesehen haben, ebenso *Dupuis* und *Tancredi*, während *Morali* nur Gesteine der Trappformation erwähnt. Soviel scheint allerdings festzustehen, daß die Annahme eines Einbruchbeckens als natürlichste Erklärung für seine Entstehung gelten kann, womit auch die von den Reisenden beobachteten Krater und heißen Quellen in Einklang zu bringen sind. *Rathjens* erwähnt noch einige kleinere Hochseen in Abessinien, von denen der im Trapp liegende Aschangisee der größte ist; auch er verdankt Einbrüchen, die durch unterirdische Aushöhlung von Kalk entstanden sein mögen, seine Existenz; wahrscheinlich besitzt er nur unterirdische Abflüsse.

Über die Größe des beinahe kreisrunden Obosomtwesee oder Busumchivisee an der Goldküste Guineas im Aschantiland gehen die Ansichten erheblich auseinander. *Perregaux*[2]) gibt 15—20 $km^2$ an, nach der Karte bei *Fergusson*[3]) muß er ungefähr 4—5mal so groß sein. Höchst merkwürdig ist seine kreisrunde Form, wobei nicht die geringsten Anzeichen für eine vulkanische Bildung vorliegen: Lotungen liegen noch nicht vor, da er als heiliger See der Aschanti nicht befahren werden darf; *Fergusson* glaubt nicht, daß größere Tiefen als 5 $m$ vorkommen.

Über Seen westlich von Timbuktu, welche zuerst 1894 *Hourt* gesehen hatte, der sie für Regulatoren des Niger hielt, hat der Leutnant *Villatte*[4]) eine Arbeit veröffentlicht, wonach diese Seen, von denen der größte den Namen Faguibine führt, zwar das Schwellwasser des Nigers aufnehmen, aber nur selten zurückgeben, weil der See, selbst bei hohem Wasserstand, immer noch 5 $m$ tiefer liegt als der Niger. Die Einwohner berichten, daß der See zuweilen gänzlich austrockne, und in der Tat war der See 1905, als er 7·60 $m$ tiefer stand als 1894, nur noch 40 $km$ lang und 10 $km$ breit, alles übrige war gänzlich ausgetrocknet. Es ist daher zu verstehen, daß *Lenz,* als er 1880 die Gegend passierte, keine Seen erwähnte, sondern nur einzelne Teiche. Im Jahre 1894 stieg er vom 15. November durch Zuströmen des Nigerwassers bis Anfang April 1895 auf eine ungewöhnliche Höhe, dann fiel der Niger so weit, bis das Wasser an der Schwelle von Dongoi eine Schranke fand; in diesem Jahre mag ausnahmsweise das Wasser des Sees zur Zeit seines Hochstandes teilweise zum Niger zurückgeflossen sein. Eben jetzt wird der Faguibine nach einer

[1]) Beiträge zur Landeskunde von Abessinien. Mitt. der Geogr. Ges. München 1911. H. 15.

[2]) Le lac Obosontwe. Bull. Soc. Neuchâtel Géogr., Bd. XI, 1899.

[3]) Lake Busumchivi Ashanti. G. J., Bd. XIX, 1902.

[4]) Le régime des eaux dans la région lacustre de Goundam. La Géogr., 1907, Aprilheft; vgl. *P. Vuillot,* Reconnaissances dans la région des lacs de Tombouctou. C. R. Soc. Géogr. Paris 1898.

Mitteilung in P.M., 1910, II, S. 196 von dem algerischen Geologen *R. Chudeau* einer erneuten Untersuchung unterzogen.

Eine ausgezeichnete Bearbeitung haben die vulkanischen Seen unserer Kolonie Kamerun erfahren, und zwar durch *Hassert* und *Thorbecke*, welche im Auftrage der Kommission für die landeskundliche Erforschung der Schutzgebiete in den Jahren 1907/08 eine Forschungsexpedition in das Hinterland dieser Kolonie unternahmen.[1]) Sie haben im ganzen 8 Seen ausgelotet und noch mehrere andere erkundet. Bis auf den Ndüsee besitzen sie alle eine rundliche oder ovale Gestalt; der Kraterwall ist trotz starker Vegetation noch sehr gut erkenntlich. Ohne Zweifel bilden sie die erweiterten Mündungen von Eruptionskanälen; die beiden Epochaseen scheinen die jüngsten vulkanischen Gebilde zu sein. Die meisten Seen haben unterirdische Zu- und Abflüsse; ihr Einzugsgebiet ist klein, da der Kraterwall meist schon die Wasserscheide bildet. Der Abfluß ist häufig nur ein temporärer; Wasserstandsmarken früherer Hochwasserstände sind sehr gut zu erkennen. Im Rickardsee befindet sich eine Insel, die von etwa 300 Eingeborenen bewohnt ist. Der Ndüsee hat eine etwas kompliziertere Entstehungsweise; er scheint durch Kombination von Granitmulde und Moor, das unabhängig von Bruchlinien ist, entstanden zu sein. Der unversehrt gebliebene Teil der ursprünglichen Talmulde wird nur 38 *m* tief; wie tief der vulkanische wird, konnte leider nicht ermittelt werden, weil der mitgenommene Stahldraht nur bis 208 *m* reichte. *Hassert* schätzt nach dem sonst vorhandenen Relief die größte Tiefe auf 250—300 *m*. Die beiden Epochaseen besitzen so steile Böschungen, wie sie bisher noch von keinem See ihrer Größe bekannt waren.

Den niedrigsten Teil der Fayûmprovinz von Ägypten nimmt der Birket el Qurûn ein, der wahrscheinlich an der Stelle liegt, wo sich im Altertum der Moerissee befand. Nach einem Referat über das Werk von *H. J. L. Beadnell*[2]) in G. J., 1906, Bd. 27, S. 198 soll er 225 Squaremiles, also ungefähr 680 $km^2$ groß sein; wahrscheinlich liegt hier eine Verwechslung von Quadratkilometer und Squaremiles vor, denn nach dem Blatt 70 in *Stielers* Handatlas ist er höchstens 225 $km^2$ groß. Seine Tiefenverhältnisse scheinen noch wenig bekannt zu sein. Nach *Beadnell* wird er im allgemeinen nur 5—7 *m* tief, doch sollen erheblich tiefere Stellen vorkommen. Sein Wasser ist so brackig, daß es nicht getrunken werden kann. Der Umstand, daß es zwar großen Temperaturschwankungen unterliegt[3]), aber durchweg auffallend kühl ist, läßt darauf schließen, daß unterirdische Abflüsse des Sees existieren, woran schon *Schweinfurt* glaubte. Nach *Beadnell* verdankt der See nicht etwa tektonischen Änderungen der Erdrinde, son-

[1]) Seenstudien in Nord-Kamerun. Zeitschr. d. Gesellsch. f. Erdkde. Berlin 1912. Nr. 1–3.

[2]) The Topography and Geology of the Fayum prov. of Egypte. Cairo 1905.

[3]) Description of a Biol. Exp. to the Birket el Qurun, Fayum prov. of Egypt. Proc. Zool. Soc. London 1908. Die Arbeit: Étude sur la topographie du Fayum, Bull. Soc. Khéd. Géogr., Bd. VII, Cairo 1910, kenne ich nicht.

dern subärialen Denudationen seine Entstehung. Von Seen auf afrikanischen Inseln haben diejenigen der Insel Madagascar durch *Landois*[1]) teilweise eine Bearbeitung gefunden. Auf seinen Wanderungen auf der Insel in den Jahren 1900/03 hat er nahe der äußersten Nordspitze ein Ambramassiv, das vom 1360 *m* hohen Ambrapik überragt wird, eine Anzahl Kraterseen gefunden, die bisher verborgen geblieben waren, weil sie im dichten Urwald liegen. Der größte scheint der 1250 *m* hoch gelegene Lac d'Etape (10 *ha*) zu sein, seine Tiefenverhältnisse sind bis jetzt noch unbekannt, der Wasserstand scheint nur geringen Schwankungen unterworfen zu sein. Ein zweiter See, der 1150 *m* hoch gelegene Grand lac, scheint in trockenen Sommern gänzlich auszutrocknen. Auf der Insel Fernando-Po hat der spanische Missionär *Joaquin Zuanola* in 1120 *m* Meereshöhe einen Kratersee gefunden, der angeblich 1500 *m* lang, 1000 *m* breit sein soll. Nähere Angaben scheinen bisher zu fehlen. *Oscar Baumann* erwähnt ihn in seiner Arbeit über diese Insel (Wien 1888) nicht.

## Asien.

Von dem tiefsten und vielleicht auch interessantesten See der Erde, dem Baikalsee, ist vom russischen hydrographischen Departement ein in russischer Sprache herausgegebenes Lootsenbuch und eine physisch-geographische Skizze, St. Petersburg 1908, erschienen, nachdem schon einige Jahre vorher die nach den „Forschungen der Hydrographischen Expedition des Baikalsees unter Leitung des Obersten *Drischenko* in den Jahren 1900/01" von der Kaiserlichen Russischen Geogr. Gesellschaft (St. Petersburg o. J.) bearbeitete Karte des Sees in 3 Blättern im Maßstab 1:252.000 herausgekommen war. *Woeikow*[2]) hat von jenem Werk ein sehr dankenswertes Resumé gegeben, dem wir teilweise folgen. Der See, den die umwohnenden Völker als Meer bezeichnen, die Chinesen als „Nordmeer" (Pe-hai), die Mongolen als „Heiliges Meer" (Dalai-Nor), während der Name Baikal der tartarischen Sprache entstammt, richtiger aber Baikul, d. h. „Reicher See" heißt, besitzt eine Länge von 670 *km*, wenn man dem Talwege folgt, gleich der Luftlinienentfernung von Berlin bis zum Comersee, einen Umfang von 2100 *km*, was der Küstengrenze Deutschlands nur wenig nachgibt und ein Areal von rund 37.000 $km^2$, etwas kleiner als die Provinz Ostpreußen. Sein Becken besteht aus drei Teilen; im südlichen Teil hat es eine wesentlich ostwestliche Richtung und eine Maximaltiefe von 1435 *m*, der mittlere Teil hat ungefähr die Richtung SW.—NO. und erstreckt sich von der Enge bei dem Delta der Selenga bis zur Insel Olchon, seine größte Tiefe ist 1523 *m*, d. i. die tiefste Einsenkung des Festlandes, welche bis

[1]) Le Massiv d'Ambra (Madagascar). La Géographie, tome 19, 1909. In der Revue Madagascar, Vol. X, Paris 1908 ist eine Arbeit von *H. Berthier*, Les grands lacs de Madag. la région du lac Itasy erschienen, die mir nicht zu Gesicht gekommen ist. Ebensowenig wie die Schrift von *Sibree*, Madagascar before the conquest, London 1866, in welcher auch Seen Madagascars behandelt sein sollen.

[2]) P. M., 1910, H. 4.

jetzt bekannt ist. Sie reicht 1047 *m* unter dem Meeresspiegel herab und liegt nur 2·5 *km* vom mittleren Teil seiner Westküste entfernt, so daß der Abfall des Seebodens hier den enormen Betrag von 60 von Hundert erreicht.[1])

Im nördlichen Teil ist die Richtung SN., die größte Tiefe 987 *m*. Die 800-Fadenlinie erstreckt sich nicht bis in den südlichen Teil des Sees, wo zwischen den beiden früheren Endpunkten der sibirischen Bahn, Listwinitschnoja und Myssowaja, ein ausgedehntes Gebiet liegt, das über 700 Faden tief ist, sondern es ist von ihm durch einen verhältnismäßig hohen Rücken getrennt, der bis 123 Faden Tiefe reicht. Der Baikal ist also kein einheitliches Becken. Das Delta der Angara verringert die Tiefe des Sees an dieser Stelle, welche die engste im See ist, beträchtlich; trotzdem erreicht er hier immer noch eine Tiefe von nahezu 300 Faden, so daß eine Abschnürung in zwei Teile noch gute Wege hat. Sehr flach ist die kleine Prawalbucht an der rechten Seite des Angaradeltas. Der Teil des Sees zwischen diesem Delta und der Insel Olchon scheint hydrographisch bis jetzt noch am unbekanntesten zu sein; wenigstens besitzen die Lotungslinien in der Breite des Sees von Ufer zu Ufer hier eine Entfernung bis zu 100 *km*, so daß es nicht ausgeschlossen ist, daß in dieser Gegend noch größere Tiefen gelotet werden können, als man bisher gefunden hat. Zwischen der Westküste und der schon genannten Insel Olchon (800 $km^2$) scheint die 200-Fadenlinie nicht einzudringen, im Durchschnitt ist hier der See 50—100 Faden tief. Die 800-Fadenlinie reicht vermutlich nicht viel weiter nördlich als die Verbindungslinie zwischen dem Nordende der Olchoninsel und der Südspitze der großen Halbinsel Swjatoinoss. Die 500-Fadenlinie erstreckt sich anscheinend nicht nördlich über die eben erwähnte Halbinsel hinaus, die 400-Fadenlinie reicht etwa bis zum 55° 30′ nördlicher Breite, die 200-Fadenlinie ist vom nördlichsten Punkt des Sees etwa 8 *km* entfernt. Wir haben also im großen und ganzen zwei durch einen verhältnismäßig hohen Rücken, der bis 123 Faden Tiefe reicht und in der Verlängerung des Selengadeltas liegt, getrennte, an Größe sehr verschiedene Becken: ein erheblich kleineres, aber durchweg tieferes im Südwesten, ein viel größeres im Nordosten, welches zwar an absoluter Tiefe ersteres überragt, ihm aber an mittlerer Tiefe nachsteht und das sich an seinem nördlichen Ende sanfter erhebt als das kleinere an seinem südwestlichen Ende. Ich[2]) habe nach der oben erwähnten Karte des Sees, so weit es möglich war, sein Volumen zu berechnen versucht und etwa 27.000 $km^3$ gefunden, woraus eine mittlere Tiefe von ungefähr 720 *m* = 47 von Hundert der größten Tiefe resultiert, ein bei tiefen und großen Seen selten großes Verhältnis. Ohne Zweifel besitzt nur noch der Kaspisee ein größeres Volumen, der ja auch allerdings 12mal größer als jener ist. Die Ostsee samt ihren Zugangsmeeren Kattegat und Skagerrak hat

[1]) Zum Vergleich sei hier bemerkt, daß das tiefste Bohrloch der Erde, das man bis jetzt besitzt, dasjenige von Czuchow in Oberschlesien, eine Tiefe von rund 2240 *m* besitzt.

[2]) Globus, Bd. 95, Nr. 9, 1909.

nur ein etwas größeres Volumen als der Baikal.[1]) Das Volumen des Genfersees ist nur $^1/_{300}$, das des Comersees nur $^1/_{1000}$ von jenem.

Daß der Baikal vom geologischen Standpunkt aus nur sehr jungen Datums sein kann, geht schon aus den heftigen Erdbeben hervor, die an seinem Ufer häufig auftreten, so besonders stark in den beiden Jahren 1861—1862.[2]) Man kann 3 Stoßgebiete unterscheiden: erstens die breite Zone von Irkutsk über den südwestlichen Baikal, zweitens das Stoßgebiet im Tal des Irkut bis gegen Irkutsk hin in der Längsrichtung des Baikal, drittens das Tal des Bargusin mit der gleichen Richtung. Außerdem pflegen alle Seen, welche in so tiefen Spalten liegen wie der Baikal, relativ jungen Datums zu sein. Andrerseits führt seine Lebewelt zu ganz entgegengesetzten Resultaten, insofern sie eine typische Reliktenfauna mit Beziehungen zu weit entlegenen Gebieten ist. Der merkwürdigste aller Bewohner des Sees ist die Nerpa, eine Robbe, deren systematische Stellung noch unklar ist. Nach *Benedikt v. Dybowski*[3]) repräsentiert sie eine besondere Art, welche kleiner ist als die übrigen Robben, während ihre Jungen abnorm groß werden. Im Kaspisee und Aralsee kommen auch Robben vor, von den Anwohnern Tjulen genannt, welche wahrscheinlich identisch sind mit denjenigen der Ostsee, während das Verhältnis zu der Baikalrobbe noch nicht feststeht.[4]) Dagegen befinden sich im Balchaschsee keine Robben, so daß zwischen den Robben im Aral und dem Baikal eine Lücke von etwa 3000 *km* klafft. Andrerseits will *Obrutschew*[5]) im Kukunor, der vom Baikalsee nur halb so weit entfernt ist, Robben gesehen haben; eine Bestätigung dieser Beobachtung steht freilich noch aus. Nach *Dybowski* sind von den 26 Arten, die er fand, 9 endemisch, d. h. ausschließlich auf den See beschränkt. Der merkwürdigste unter ihnen ist der Öl- oder Spinnenfisch (Callionomys baicalensis), von den Russen Glomynka genannt, der eine besondere Familie bildet. Obwohl seine systematische Stellung noch nicht völlig feststeht, gehört er wahrscheinlich in die Familie der Makrelen, zu denen auch der bekannte Thunfisch zählt. Jedenfalls sind fast alle Arten der Familie Bewohner des Meeres. Nebenbei bemerkt gehört dieser Fisch zu denjenigen, welche völlig entwickelte Brut zur Welt bringen.[6]) Marine Formen finden sich auch unter den Krebsen des Baikal, wichtiger noch

[1]) *Karstens*, Die Ostsee. Kiel 1894.

[2]) *Paul Kremarik*, Die Erdbeben des Baikalgebietes. 32. Jahresbericht des k. k. Staatsgymnasiums in Nikolsburg, 1905.

[3]) Archiv für Anatomie, Physiologie. Leipzig 1873. Verh. d. bot.-zool. Vereines zu Wien, Bd. 24, 1874; cf. *Wl. Dybowski* in der Mém. Acad. Sci. St. Pétersbourg, sér. 7. Vol. 22, 1876; Vol. 27, 1880; Vol. 30, 1882.

[4]) *Th. Arldt*, Der Baikalsee — ein tiergeographisches Rätsel. Naturw. Wochenschrift, N. F., Bd. VI, 1906, Nr. 46; idem: Der Baikalsee und seine Lebewelt. Archiv für Hydrobiologie, III, 1907.

[5]) Über die geologische Untersuchung im Tarberigebiet und Barlyk vom Jahre 1905. Ann. géol. et min. de la Russie. Novo-Alexandria 1906 (russisch).

[6]) *E. Korotnew*, Einiges über die Tricludenfauna des Baikalsees. Zool. Anzeiger, Bd. 33, Leipzig 1908; idem, Die Comephoriden des Baikalsees und *W. Michaelsen*, Die Oligochäten des Baikalsees. Berlin 1905.

für den See ist die Molluskenfauna, welche fast ausschließlich endemisch ist. Darunter befindet sich unter anderem eine Art, welche einer im oberen Tertiär Deutschlands vorkommenden Art sehr nahe steht; fast alle zeigen Beziehungen zu den weitentferntesten Ländern, gehören aber nicht zu den Marineformen. Letzteres ist aber der Fall bei dem Baikalschwamm (Lubomirskia baicalensis).

Nach dem Gesagten erscheint es *Arldt* als das Wahrscheinlichste, daß die Fauna des Sees aus dem Süden gekommen ist, in welchem in der jüngeren Tertiärzeit Ostturkestan und die Mongolei von einem Meere bedeckt waren, welches nach Osten hin bis zu dem Großen Ozean, nach Westen sich bis zum aralokaspischen Becken und mit dem damals mit ihm in Verbindung stehenden Schwarzen Meer erstreckte. Schwierig zu erklären bleibt dabei noch die Tatsache, daß in der Umgebung des Baikal alle Meeresablagerungen aus neuerer Zeit fehlen. Es folgt, daß der See nicht als eine alte Meeresbucht aufzufassen ist, sondern sich erst in einer späteren Zeit als eine Grabenversenkung gebildet hat, nachdem durch die atmosphärischen Niederschläge die bloßgelegten Meeresablagerungen fortgespült waren. Selbstverständlich sind mit dieser Annahme noch lange nicht alle Schwierigkeiten, welche die Existenz dieses merkwürdigsten Sees der Welt und seine Bewohner den Forscher bieten, überwunden und es bedarf noch vieler Spezialarbeiten, ehe die Rätsel gelöst werden, welche die Natur hier den Menschen darbieten.

Im nördlichsten Teil des mittleren Sibiriens hat im Jahre 1904 eine Expedition unter der Leitung des Astronomen *O. Backlund*[1]) den Versuch gemacht, die Lage des See Jessey festzustellen, der bisher auf keiner Karte richtig gezeichnet war und sodann den See Wojewoli zu erforschen, von dessen Existenz man durch die Tungusen Kenntnis erlangt hatte. *Strelbitzky* gibt für diesen See ein Areal von nicht weniger als 2205 $km^2$ an. Beide Seen scheinen zum Chatanga abzuwässern, der zwischen Jenissei und Lena ins nördliche Eismeer sich ergießt. Im nordöstlichen Sibirien hat *W. Jochelson*[2]) die sehr zahlreichen Seen besucht, welche zwischen der Alaseja und der Kolyma liegen und mit diesen Flüssen wie miteinander im engen Zusammenhang stehen. Der Schnee, der dort nicht selten eine Mächtigkeit von $1^1/_2$ $m$ und mehr erreicht, füllt bei der Schneeschmelze im Frühjahr alle Vertiefungen der Ebene aus und bei dem langsamen Abfluß und der geringen Verdunstung während des kurzen Sommers halten sich die großen Wasserbecken, die einen Umfang von über 100 Werst einnehmen können. In der Gegend von Werchne-Kolymok finden sich Seen mit schlammigem (statt moosigem) Grund und noch weiter südlich vom Gebirge werden die Seen kleiner, aber auch tiefer.

Der Kossogol, welcher in einer Meereshöhe von 1676 $m$ südwestlich von Irkutsk liegt und durch den Egenkol zur Selenga und mithin

[1]) Abhandlungen der Kaiserl. Russ. Geogr. Gesellsch. zu St. Petersburg, Bd. 42, 1906 (russisch).

[2]) P. M., 1907, Bd. 53.

zum Baikalsee abwässert, ist 125 *km* lang, bis 37 *km* breit und erreicht ein Areal von rund 3400 $km^2$, gehört also zu den größten Hochseen der Erde. Gleich dem Baikal wirkten bei der Gestaltung seines jetzigen Beckens tektonische Ursachen mit. Er wurde in den Jahren 1897/1902 durch *Perotoltschin*[1]) und im Sommer 1903 durch *Jelpatjewkij* im Auftrage der Kaiserl. Russ. Geogr. Gesellschaft in St. Petersburg untersucht.[2]) Seine Uferberge bestehen aus Graniten, Gneisen und Eruptivgesteinen, während Sedimentgesteine fehlen. Seine Maximaltiefe beträgt nach *Perotoltschin*, der die meisten Lotungen ausführte, mindestens 239 *m*, erreicht aber wahrscheinlich 260—270 *m*, der mittlere Teil konnte wegen heftiger Stürme noch nicht näher untersucht werden. Nach der im Maßstab ungefähr von 1:400.000 gezeichneten Tiefenkarte, worin allerdings nur 60 Lotungen eingetragen sind, habe ich das Volumen des Sees zu rund 480 $km^3$, seine mittlere Tiefe zu 140 *m* bestimmt. Faunistisch ist er mit dem Baikal nicht verwandt. Da sein Wasserspiegel momentan im Sinken begriffen zu sein scheint, wurden auf einer Insel im See Höhenmarken angebracht.

Im östlichen Teil des mongolischen Altai hat der bekannte Asienforscher *W. Saposchnikow* aus Tomsk auf seiner vierten Forschungsreise in den bisher noch wenig besuchten Dain-gol Lotungen angestellt, welche trotz des beträchtlichen Umfanges des Sees (50 *km*) keine größeren Tiefen als 6 *m* ergaben[3]), während *Kozloff*[4]) am oberen Quellsee des Kobdoflusses, im Dolmo-nor, eine Tiefe von 37 *m* fand. Derselbe berichtet von dem weiter südöstlich gelegenen Tsagan-nor, daß an seiner Stelle nur noch ein kleiner seichter Tümpel besteht und daß ebenso der Ulan-nor ganz ausgetrocknet sei. *Carruthers* traf auf seiner Forschungsreise in der östlichen Mongolei, in der Nähe des Beikem, des nördlichen Quellflusses des Jenissei, auf chinesischem Boden eine Anzahl bis dahin nicht bekannter Glazialseen.

Bedeutend weiter nordöstlich, nahe der russischen Grenze, liegen die beiden einzigen größeren Seen der Mongolei, der Dalai-nor und der Bur-nor, die etwa jeder 300 $km^2$ Größe besitzen mögen. Sie wurden von *Campbell* besucht, der leider mangels geeigneter Fahrzeuge keine Lotungen unternehmen konnte. Ersterer nimmt außer dem Abfluß des Bur-nor noch den Kyrylun auf, der unweit Urga entspringt.

In der chinesischen Provinz Kansu hat im Scheidegebirge der beiden chinesischen Riesenströme Yangtse und Hoangbo der Missionär *David P. Ekvall* einen 9000′ hohen abflußlosen 12 *km* langen See mit sehr steilen Ufern besucht, der von den Eingeborenen unter anderem Chongnan-Shan genannt wird (G. J., Juniheft, 1911). Weitere Angaben fehlen bis jetzt.

---

[1]) Recherches physico-géographiques du lac de Kossogol (russisch). Mit einer Tiefenkarte in 1:400.000. Trudy der Gesellschaft der Naturforscher der Universität Kasan, Bd. 38, H. 1. Ref. im Globus, Bd. 86, 1904.

[2]) Semlevedenje, 1903/4. Ref. von *Wocikow* in P. M., 1904, pag. 152f.

[3]) P. M., 1909, S. 372.

[4]) Journeys in Mongolia. G. J., Vol. 22, S. 484ff.

Zu den bestbekanntesten Seen von Russisch-Asien gehört der im Gouvernement Tomsk im nordöstlichen Teil des russischen Altai in 473 *m* Meereshöhe gelegene Telezkoje, von den Eingeborenen der goldene Alpensee — Altinkol — genannt. Dieser See, der sich durch sein türkisblaues ungewöhnlich klares Wasser auszeichnet, wurde zum erstenmal 1863 von Kosaken besucht und in den Jahren 1900/01 durch *Ignatow* einer eingehenden Untersuchung unterzogen. Der durch tektonische Veränderungen der Erdoberfläche entstandene See hat fast überall sehr steile Ufer, die eine Höhe bis 2000 *m* erreichen und zum größten Teil aus Ton- und Kalkschiefern bestehen, deren Schichten bis zu 90° geneigt sind. Nur das Südufer ist aus Graniten gebildet, welche auch den höchsten Berg seiner Umgebung, den Altyn-ta, zusammensetzen. Aus seiner nordwestlichen Bucht entspringt die Bija, der östliche Quellfluß des Ob, im äußersten Süden nimmt er den Tschulischman auf, dessen Ursprung sich auf dem Grenzgebirge gegen China befindet, und zwar in der Nähe des 2300 *m* hohen Djujlju-kol.

Der etwa 230 $km^2$ große See, der den Lago Maggiore, mit welchem er in in seiner Konfiguration eine gewisse Ähnlichkeit besitzt, an Größe etwas übertrifft, besitzt nach *Ignatow* [1]) eine Maximaltiefe von 311 *m*, also die des Genfersees. Es ist aber nicht ausgeschlossen, daß noch größere Tiefen vorhanden sind, obwohl bereits 2500 Lotungen gemacht sein sollen. Nach der schönen Tiefenkarte, welche *Ignatow* seiner ausführlichen Arbeit im Maßstab 1 : 126.000 mit Tiefenstufen von 20, 40, 50, 100, 120, 130, 150 Faden beigefügt hat, habe ich sein Volumen auf rund 49 $km^3$ berechnet, es stimmt also mit dem des Gardasees ungefähr überein. Seine mittlere Tiefe aber, die sich daraus berechnet, beträgt 213 *m*, also etwa $^2/_3$ der größten Tiefe, ein ganz ungewöhnlich hohes Verhältnis, das unter den großen Alpenseen nur noch der beinahe 8mal kleinere Brienzersee erreicht. Von den Seen Europas besitzt, soweit unsere bisherige Kenntnis reicht, keiner eine so große mittlere Tiefe: der Mjösen in Norwegen hat nur eine mittlere Tiefe von 192 *m*, doch ist es möglich, daß einige noch tiefere norwegische Seen, wie z. B. der Hornindalsvand, dem Telezkoje an mittlerer Tiefe gleichkommen, wenn nicht übertreffen. Die Bodenkonfiguration des Sees ist nicht ganz einfach; sein in nordsüdlicher Richtung verlaufender Hauptteil zerfällt durch eine bis 260 *m* unter das Niveau des Sees hinaufreichende Schwelle in 2 Becken, von denen das südlichere das größere ist. Die größte Tiefe erreicht er am Nordende des eben erwähnten

[1]) Berichte der Kais. Russ. Geogr. Gesellschaft St. Petersburg, 1902, Nr. 2. Ref. in P. M., 1903 von *Woeikow* und von *Adler* im Globus 1902: Auszug darin von demselben Autor (mit einigen Abbildungen) in Rußland. Vollständige Beschreibung dieses Vaterlandes. Herausgegeben von *W. P. Semenow - Tianschan*, Bd. XVI. Westsibirien, Abt. X. der Russische Altai (in russischer Sprache). St. Petersburg 1909. Ref. in der Zeitschr. f. d. ges. Wasserwirtschaft, 1910, Nr. 16. Die demselben beigegebene Kartenskizze in 1 : 500.000 ist aber nur ein Abklatsch der Karte, welche sich in der zweiten Arbeit von *Ignatow* befindet und nicht eine Reduktion einer solchen von 1 : 42.000, welche vielmehr gar nicht zu existieren scheint.

Hauptteiles. Sehr bedeutend ist auch seine mittlere Böschung: 8·5°, die allerdings von den Alpenseen Brienzersee und Lago Maggiore übertroffen wird. *Ignatow* hat noch eine Reihe Bergseen im russischen Altai ausgelotet, so den 14 *km* langen, 3 *km* breiten Dschülukol in 2450 *m* Meereshöhe, der nur 6·4 *m* tief wird und den Charakter eines Grundmoränensees besitzt, den 100 $km^2$ großen Kendykty-kol, der 33 *m* tief wird, den 18 *m* tiefen Kondoc-kol, den 60 *m* tiefen Tooschinkul, den 32 *m* tiefen Tscheïbakkul und noch mehrere kleine 1400 *m* hoch gelegene Seen von 6·3, 15·3, 31·7 *m* Tiefe.

Über den Aralsee, den größten reinasiatischen See, erschien vor einigen Jahren ein umfassendes Werk in russischer Sprache von *L. Berg*[1]) mit einer Karte des Sees in 1: etwas über 1,000.000 (genauer 1 inch zu 25 werst), von welchem *Wocikow*[2]) und *Markov*[3]) Referate gegeben haben, auf welchen wir hauptsächlich fußen. Nach der 100-Werstkarte des russischen Generalstabs wäre sein Areal 67.820 $km^2$, allein nach *Bergs* Karte berechnet *Markov* seine Oberfläche zu 64.490 $km^2$ einschließlich der Inseln, 63.270 $km^2$ ohne dieselben. Nach meiner Planimetrierung *Bergs* Karte ist der See nur höchstens 62.000 $km^2$, also kleiner als der Victoria Njansa. Seine größte Länge beträgt 428 *km*, sein Umfang 1800 *km*, seine größte Tiefe 68 *m*, seine mittlere 15—16 *m*, sein Volumen rund 1000 $km^3$. Seine größten Tiefen liegen in einer schmalen Zone längs der Westküste; in der Mitte beträgt seine Tiefe durchschnittlich 20 *m*. Die gesamte Ost- und Südküste ist flach. Im Norden befindet sich zwischen den Halbinseln Kuk-Aschernak und Tschubar gleichfalls ein Gebiet über 20 *m* Tiefe. Die Westküste trägt den Typus einer Flachküste, die Nordküste hat einen ausgezackten Charakter, während die Südküste gemischte Formen aufweist. An der Ostseite treffen wir eine besondere Küstenform an, welche *Berg* den Araltypus nennt, sie unterscheidet sich von anderen durch die Fülle von schmalen Buchten, welche weit ins Land hineingehen, das ganz eben und flach daliegt. Nach seiner Meinung beruht dieser Umstand auf einen Eingriff des Sees auf festes Land, welches durch Winde erodiert wurde, wobei sich das Wasserniveau langsam gehoben hat.

Das Einzugsgebiet der Ströme, welche direkt in ihn hineinfließen, überschreitet nicht 600.000 $km^2$, das Seeareal eingeschlossen. Amu und Syr führen ihm täglich eine mittlere Wassermenge von 1500 $km^3$ zu, die hauptsächlich von geschmolzenem Schnee der Quellgebirge herrühren, und zwar führt der Syr im Durchschnitt im Jahr 201.000 $km^3$, der Amu 508.000 $km^3$ zu. An den Meßstellen dieser beiden Ströme bei Parmankurgan bzw. Nukuss ist zwar die Abflußmenge bedeutend größer, nämlich 640 bzw. 1610 $km^3$ täglich, aber beide Ströme nehmen von da ab keine Zuflüsse mehr auf,

[1]) Der Aralsee. Versuch einer physikalisch-geographischen Monographie. (Berichte der Turkest. Sektion der Kaiserl. Russ. Geogr. Gesellschaft, Bd. V. Wiss. Resultate der Aralexpedition. St. Petersburg 1908.

[2]) P. M., 1909, H. 3, vgl. *Friedrichsen*, Ref. in P. M., 1903, 6.

[3]) G. J., 1911, Novemberheft.

verlieren vielmehr sehr viel durch Verdunstung und durch Wasser, das der künstlichen Bewässerung dient. Der mittlere Salzgehalt beträgt jetzt 10·76° ‰, in den 70er Jahren dagegen über 12‰, die Abnahme ist hauptsächlich auf die bedeutende Zunahme des Sees zurückzuführen (siehe unten). Das spezifische Gewicht an der Oberfläche beträgt jetzt 1·0086, in 61 *m* Tiefe 1·0097. Das Gewicht der gesamten Salzmenge wird zurzeit auf 10.854 Millionen Tonnen geschätzt. Amu und Syr bringen ihm jährlich 34·26 Millionen Kubikmeter Sinkstoffe zu, welche ihn in 29.000 Jahren ausfüllen könnten, falls eben die Bedingungen die gleichen bleiben, was sehr zu bezweifeln ist. Der an seinem Grunde aufgehäufte Schlamm erhöht seinen Spiegel jährlich um 0·5 *mm*, in 8000 Jahren also um 4 *m*; dann würde er sich durch den Usboi und die Sary-Kamysch-Senke in den Kaspisee ergießen. Untersuchungen des Seebodens ergaben, daß die sandigen Ablagerungen bis zu einer Tiefe von 10 *m* überwiegen, daß im übrigen ein grünlicher Schlamm vorherrscht, bis auf die Region der größten Tiefe nahe der Westküste, in welcher ein Schwefelwasserstoff enthaltender schwarzer Schlamm gefunden wurde. Die Gründe für dieses Vorkommen dürften dieselben sein, wie sie bereits früher von *Lebedintzeff* für das Schwarze Meer auseinandergesetzt worden sind und von mir und anderen für das $H_2S$-Vorkommen in den lochartigen Einsenkungen norddeutscher Seen gegeben sind.[1])

Außerordentlich arm ist die Fauna, welche nur 7 Arten von Mollusken und 18 Arten Fische umfaßt, also sehr viel ärmer als die des Kaspisees ist, in welchem fast alle Formen des Aralsees vorkommen. Auch die chemische Zusammensetzung des Wassers beider Seen ist im wesentlichen die gleiche, insofern es reich an Sulfaten, arm an Chloriden ist. Die einstige Verbindung beider Seen bezweifelt auch *Berg* nicht, dagegen kann von einer früheren Verbindung des Aral mit dem Balchasch nicht die Rede sein, weil seine Fauna von ihm ganz abweicht und sein Wasser süß ist. Die früheren Funde sogenannter aralokaspischer Versteinerungen, welche man hoch über und weit im Norden und Osten des Sees machte, haben sich als irrtümlich herausgestellt und die sicheren Funde dieser Art gehen nicht höher als 4 *m* über das Niveau des Aral im Jahre 1901, d. h. 80 *m* über den Kaspisee, 54 *m* über den Ozean und befinden sich meist in unmittelbarer Nähe des Sees. Auch Versteinerungen und Reste der jetzigen Fauna sind nicht in höherer Lage gefunden worden. Diese Höhengrenze ist deswegen von besonderer Wichtigkeit, weil, wenn der See sich über 4 *m* über den Stand von 1901 erheben würde, seine Gewässer durch den Usboi und die Sary-Kamysch-Senke in den Kaspisee sich ergießen müßte. Der See hat also zur Zeit, wo er mit dem Kaspisee vereinigt war, einen erheblich höheren Stand eingenommen und ist ein Süßwassersee gewesen. Dafür ist schon sein geringer Salzgehalt ein sicherer Beweis. *Berg* nimmt an, und

[1]) P. M., Ergänzungsheft 136. Beiträge zur Kenntnis der Seen Pommerns. Gotha 1901, vgl. Teil II dieser Übersicht.

wird durch sichere historische Nachrichten unterstützt[1]), daß der Amu teilweise vom 13. bis zum 16. Jahrhundert durch den Usboi in den Kaspisee geflossen ist, wodurch das Niveau des Aral nicht unerheblich sank. Selbstredend ist dieser vorübergehende Zusammenhang beider Seen nicht zu verwechseln mit ihrer Verbindung in der Tertiärzeit. *Berg* nimmt an, daß der Aral etwa am Ende des Miocän durch einen Bruch ein selbständiger See geworden sei. *Markov* erhebt gegen diese Annahme verschiedene Bedenken, die sich nur beurteilen lassen, wenn man die Originalarbeit *Bergs* lesen könnte.

Das größte Interesse, welches der See in neuerer Zeit für Seenforschung besitzt, beruht wohl auf den merkwürdigen Schwankungen seines Wasserstandes, welche durch exakte Pegelbeobachtungen festgestellt werden konnten. Die ersten Aufnahmen des Seeniveaus geschahen durch Admiral *Butakow* Ende der 40er Jahre des vorigen Jahrhunderts zu einer Zeit, wo der See hoch stand. Die damaligen Umrisse der Ufer sind ungefähr die gleichen wie in den Jahren 1897/98, als der See schon seit mehreren Jahren im Steigen begriffen war. Auch in den 80er Jahren des 18. Jahrhunderts soll der See sehr hoch gestanden sein, während er in den 20er Jahren des 19. Jahrhunderts ein sehr tiefer war. Um 1860 war wahrscheinlich ein kleines Maximum, dem um 1884 ein Minimum folgte, dasselbe Minimum, das den ersten Anlaß gab zu der Anschauung einer fortschreitenden Austrocknung von Zentralasien. Es folgte eine Periode, von der wir nichts wissen, weil keine exakten Messungen vorgenommen wurden. Man beobachtete nur im allgemeinen, daß Inseln zu Halbinseln, und diese wieder nach einer Reihe von Jahren zu Inseln wurden. Es ist das große Verdienst von *Berg*, daß nunmehr das Steigen und Fallen des Wasserstandes genau kontrolliert werden kann. Zurzeit sind drei feste Pegel aufgestellt: eines bei Kara-Tamak am Nordwestufer, das General *Tillo* 1874 aufstellte, ein anderes an den Felsen Tokpak-Auli durch *L. Berg* im Jahre 1890 und endlich im äußersten Nordosten bei der Station „Aralsee" der Orenburg-Taschkenter Eisenbahn. Letzteres wurde auf den Spiegel der Ostsee eingepeilt. Die absolute Höhe des Sees betrug im Jahre 1901 bei dem *Tillo*schen Pegel 49·8, bei der Eisenbahnstation 50·28, woraus *Berg* als mittlere Meereshöhe 50 *m* annimmt. Seit dem Jahre 1880 bis zum Jahre 1908 ist der Wasserstand beständig gestiegen, und zwar, wie *Berg*

[1]) Vgl. *W. Barthold,* Nachrichten über den Aralsee und den unteren Lauf des Amu-Darja von den ältesten Zeiten bis zum XVII. Jahrhundert. Quellen und Forschungen zur Erd- und Kulturkunde, Bd. II, Leipzig 1910, stützt sich hauptsächlich auf *De Goeje,* Das alte Bett des Oxus, Leiden 1875 und ungedruckte von diesem noch nicht benutzte arabische Quellen und sucht den Satz von *J. Walther* (Das Oxusproblem in historischer und geologischer Beleuchtung. P. M., Bd. 44): Niemals ist der klassische Strom (Oxus) westlich nach dem Kaspi geflossen, immer strömte er nördlich in den Aralsee, zu widerlegen. *Berg* und *Barthold* stimmen in ihren Ansichten nicht ganz überein; ersterer ist der Ansicht, daß der Hauptarm des Oxus doch stets in den Aralsee geflossen sei und nur Nebenarme mit dem Kaspisee in Verbindung gestanden hätten.

annimmt, um rund 3 *m* (bis 1903 um 2·75 *m*). Schon im Jahre 1898 war der Wasserstand vom Jahre 1849 erreicht, er ist jetzt höher als seit Beginn der ersten Beobachtungen im Jahre 1780. Da der See, außer im Westen, nur flache Ufer hat und auch sehr seicht ist, so ist mit jedem Fallen und Steigen eine bedeutende Änderung des Areals des Sees verbunden und das Volumen des Sees dürfte seit 1880 um 20%, d.i. etwa um 200 $km^3$ zugenommen haben, also um mehr als das Doppelte des Volumens des größten Alpensees, des Genfersees. An äußerlich sichtbaren Folgen dieser andauernden Vergrößerung des Sees fehlt es nicht. Die ursprünglich angenommene Trace der Eisenbahnlinie Orenburg-Taschkent mußte landeinwärts verlegt und im Jahre 1902 die fertige Linie durch einen Damm vor dem Wasser geschützt werden; die Insel Tschuschkaral, auf welcher sonst Weizen usw. gebaut wurde, mußte 1890 verlassen werden; zahlreiche xerophyle Pflanzen, wie Tamarix, Haloxylom, werden im Wasser gefunden. Die Ursache dieser gewaltigen Schwankungen beruht nach *Berg* und *Wocikow* auf 2 Gründen. Zunächst sind die Regen- und Verdunstungsmengen von Jahr zu Jahr recht verschieden. Das wechselnde Maß der Verdunstung scheint dabei die Hauptrolle zu spielen: im Mittel ist sie 8·4mal so groß als der jährliche Niederschlag (108 *mm*), in feuchten Jahren sinkt das Verhältnis auf 4·9, in trockenen steigt es auf 14. Es liegen aber solche Extreme oft nahe beieinander, so war 1893 sehr trocken, 1896 sehr feucht, es kann also auf diesen Umstand allein das beständige Wachsen des Sees nicht zurückgeführt werden und *Wocikow* führt als zweite Ursache die Tatsache ins Feld, daß, seitdem Rußland Turkestan erobert hat, Frieden im Lande herrscht und infolgedessen der Ackerbau und die künstliche Bewässerung stark zugenommen haben, wodurch eine allgemeine Verbesserung des Klimas in der Umgebung des Sees stattgefunden hat. Die Flüsse haben also im ganzen trotz ihrer Inanspruchnahme mehr Wasser dem Aral zugeführt als früher und so dazu beigetragen, seinen Wasserstand ständig zu erhöhen. Ob dieser Erhöhung wieder eine Erniedrigung folgen wird, was an und für sich sehr wahrscheinlich wäre, muß erst die Zukunft lehren. Jedenfalls ist die Periode der Klimaschwankungen in diesem Gebiete, falls eine existiert, erheblich länger als die *Brückner*sche und stimmt auch wohl nicht in der Zeit mit ihr überein. Ganz kolossal sind, nebenbei bemerkt, auch die täglichen Schwankungen des Sees: so soll sie am 6. Dezember 1904 1·36 *m* betragen haben, hinter welcher Angabe ich ein erhebliches Fragezeichen setzen möchte. Im Laufe eines Jahres erreicht der See seinen höchsten Stand gewöhnlich im September, seinen tiefsten im November; die Jahresschwankung des Jahres 1903 betrug 34 *cm*.

Aber nicht bloß der Aralsee, sondern auch die Mehrzahl der vielen Salzseen in dem weiten Gebiet östlich vom Ural bis zum Altai, das man gewöhnlich mit dem gemeinsamen Namen von Ostturkestan bezeichnet, sind seit 1890 fortwährend im Steigen begriffen, nachdem sie in einer vorangegangenen Zeitperiode eine Trockenzeit erlebt hatten. Es verdient

gleich eingangs hervorgehoben zu werden, daß die Periode dieser Schwankungen, wie schon *Brückner* selbst in seinem klassischen Werk[1]) hervorhob, keineswegs mit der sonst nach ihm benannten Klimaperiode übereinstimmt, vielmehr ihre besondere Periode besitzt, welche wahrscheinlich erheblich länger als jene ist. Von den großen Seen Balchasch und Issykkul wird noch später die Rede sein. Die zahlreichen Seen in dem weiten Steppengebiet, das sich auf beiden Seiten des Irtysch im Gouvernement Semipalatinsk bis zur westsibirischen Eisenbahn erstreckt und sich durch geringe Niederschläge — im Jahr im Durchschnitt zwischen 200—300 *mm* — unvorteilhaft auszeichnet, zeigen durchschnittlich ein Anwachsen ihres Wasserstandes seit der gleichen Zeitperiode. Viele von ihnen sind durch *Ignatow*[2]) im Auftrage der westsibirischen Abteilung der Kaiserl. Russ. Geogr. Gesellschaft näher untersucht worden. Im nördlichen Teil sind der Kysyl-kak, Selety-Dengiz und Teke die größten. Ersterer ist 162 $km^2$ groß, wird aber nur 1·5 *m* tief, der zweite wird kaum 3 *m* tief, ist aber anderthalbmal so groß wie der Genfersee. Der Teke hat die Größe des Lago Maggiore, seine Tiefen sind bis jetzt noch unbekannt, sein Salzgehalt hat sich infolge der beständigen Vergrößerung seines Umfanges so vermindert, daß die Ausbeutung sich nicht mehr als lohnend erweist. Dasselbe ist bei dem Selety der Fall.

*Ignatow* hat 1899 eine zweite Reise nach den Seen Tenis und Kurgaldjin, welche weiter südwestlich liegen, unternommen und seine Beobachtungen in einem vorläufigen Berichte mitgeteilt, die leider, wie auch seine spätere Veröffentlichung über diese Seen, russisch geschrieben sind, so daß wir auf ein Referat von *Adler*[3]) auch hier angewiesen sind. Der Tenissee (1520 $km^2$) erreicht eine Tiefe von 7 *m*, der Kurgaldjinsee (456 $km^2$) von 2 *m*. Letzterer ist eigentlich kein selbständiges Seebecken, sondern mehr ein Durchflußsee der Nura, welche bei Akmolinsk in den Ischim mündet, den größten Nebenfluß des Irtysch. Auch diese Seen sind mindestens seit 1880 im Steigen begriffen; leider sind wir nicht darüber orientiert, ob dasselbe noch in diesem Jahrhundert anhält. Die genannten Seen lassen sich als Reste eines flachen Meeres bezeichnen, das im Anfang des Tertiärs vom Polarmeer bis zum Altai und zum Uralgebirge reichte. Nachdem es seine Verbindung mit dem Südrussischen und dem Polarmeer verloren hatte, verwandelte es sich in eine Anzahl von Seen, die zum Teil bald eindampften und gänzlich verschwunden wären, wenn sie nicht durch atmosphärische Niederschläge immer wieder genährt würden. Solche „Salzbitterseen“ finden sich auch in dem Gebiete zwischen Ob und Irtysch; im nördlichen Teile, in der Barabasteppe, liegen die größten, der Tschamysee, welcher im Jahre 1898 rund 4000 $km^2$ groß war, nach *Jadrinzeff*[4])

[1]) Klimaschwankungen seit 1700. Geogr. Abh. herausgeg. von *Penck*, Bd. IV, H. 2. Wien und Leipzig 1890.

[2]) Berichte der Kaiserl. Russ. Geogr. Gesellschaft in St. Petersburg, Bd. 35 und 36; Sapiski der Westsibirischen Abteilung derselben Gesellschaft, Bd. 28, 1901.

[3]) Globus, Bd. 80 (15. August 1901); cf. Scott. Geogr. Mag., Bd. 17, 1901.

[4]) Berichte der Kaiserl. Russ. Geogr. Gesellschaft, 1886.

in den Jahren 1829—1880 von 8300 auf 3400 $km^2$ zusammengeschrumpft sein soll und der 560 $km^2$ große Ubinskische See (Maximaltiefe 3·5 $m$). *R. Brecht-Bergen* in Barnaul macht mit Recht darauf aufmerksam[1]), daß auf diese gewaltigen Differenzen in den Arealzahlen nicht viel zu geben ist, weil das kartographische Material jener Zeit sehr unzuverlässig ist. Derselbe behandelt eine Anzahl Seen südlich von der Barabasteppe, von denen die größten bei den Dörfern Lebjáschja und Jegorowskij in der Mitte zwischen Jyrtsch und Barnaul liegen; nordwestlich von ihnen liegen in der Kulundasteppe dicht beieinander der Kuludasee und der Kutschuksee, die eine beträchtliche Größe erreichen. Der Verfasser bestreitet, daß alle diese Salzseen als Überbleibsel größerer Wasserflächen anzusehen sind, vielmehr werden viele von ihnen durch Grundwasser gespeist, welches aus ihrer Umgebung den Seen Salz zuführt. Er macht ferner darauf aufmerksam, daß man das Austrocknen der Seen auseinanderhalten muß von ihrer zunehmenden Versalzung, da manche Seen ihren Umfang behalten und trotzdem mehr und mehr versalzen, wie die Bewohner der Steppe es deutlich beobachten konnten. Endlich zeigt *Brecht*, daß die Niveauschwankungen dieser Seen in gar keinem Zusammenhang stehen mit der *Brückner*schen Periode der Klimaschwankungen. Ein und derselbe See zeigt nicht selten an verschiedenen Stellen sehr verschiedenen Salzgehalt, so daß an einem Ufer das Wasser von der Bevölkerung allgemein benutzt wird, während es auf der anderen Seite selbst zum Tränken des Viehs ganz unbrauchbar ist. Diese Tatsache stimmt gut mit der von *Brecht* angenommenen Speisung der Seen überein. Bis jetzt wird das Salz dieser Seen nur wenig ausgebeutet, obwohl z. B. der nur 92 $ha$ große Kotschkowátoe jährlich allein 100.000 Pud liefert und die Salzausbeutung nach sicheren Überlieferungen bis ins 16. Jahrhundert zurückgreift. Alle diese Seen sind sicher nur sehr flach, obwohl genaue Tiefenmessungen bis jetzt nicht vorgenommen wurden.

Über den Balchaschsee hat *Berg*[2]) eine russisch geschriebene Monographie mit einer schönen Karte des Sees etwa ungefähr in 1:150.000 veröffentlicht, in welcher leider alle Tiefenangaben fehlen. Er selbst behauptet nirgends eine größere Tiefe als 11 $m$ gefunden zu haben, andere Autoren sprachen von 40 $m$ Maximaltiefe. Bei seiner großen Ausdehnung (etwa 20.000 $km^2$) wollen die 7 Querprofile, längs welcher *Berg* ihn abgelotet hat, nicht viel besagen, so daß die Bodenkonfiguration jedenfalls noch nicht genau feststeht.[3]) Eine neue Aufnahme unter Leitung des Astronomen *Salesky* und des Topographen *Kartyelow* hat nur die Konturen des Sees

[1]) Das Salz- und Bitterseengebiet zwischen Irtysch und Ob. Globus, Bd. 93, Nr. 9, 1908.

[2]) Untersuchungen über den Balchaschsee im Jahre 1903 in den Abhandlungen der Kaiserl. Russ. Geogr. Gesellschaft in St. Petersburg 1904. Ref. von *Wocikow* in P. M., 1903, pag. 285.

[3]) *Baikow* gibt 20 $m$ als größte Tiefe an. (Mitt. der Kaiserl. Russ. Geogr. Gesellschaft, Bd. I, 1867).

festgelegt. An seinen Ufern herrschen massive krystallinische Gesteine vor, meist in rundlichen Formen, neuere Sedimente scheinen gänzlich zu fehlen. Von den 14 Arten der Fischfauna, welche *Nikolsky* feststellte, findet sich keine im aralo-kaspischen Becken oder im Ob, dagegen ist die Fischfauna des Balchaschsees nahe verwandt mit derjenigen der Seen des zentralen Hochasien, denn an beiden Stellen herrschen die Cypriniden und Kobitiden vor; vier Gattungen der ersteren finden sich ausschließlich im Balchaschsee und in den zentralasiatischen Seen; dasselbe gilt von den Diplophysaarten. Überdies sind Schizothorax tarimi, S. aksaensis und Diplophysa Strauchii, welche *Nikolsky* im Iliflu[ß] fand, dem Balchaschsee und dem Lobnor gemeinsam. Nur drei Arten kommen im Balchaschsee vor, die den zentralasiatischen Seen fehlen und ihn in seiner Fauna dem Ob nähern. *Nikolsky* schließt hieraus, daß, wenn jemals eine direkte Verbindung zwischen dem Balchaschsee und dem Aralsee bestanden hat, sie früher getrennt sein muß, als die Verbindung zwischen dem aralokaspischen und dem sibirischen Ozean aufgehört hat. Dagegen müssen der Balchaschsee und der Lob-nor noch lange nach der oben erwähnten Trennung in Zusammenhang geblieben sein. *Ochsenius*[1]) hat den Versuch gemacht, die Tatsache zu erklären, daß dieser in einem sehr trockenen Klima gelegene abflußlose See ein seichter Süßwasserse[e] ist, obwohl seine hauptsächlichsten Zuflüsse, darunter der 1310 *km* lange Ili, der vom Nordabhang des Tienschan kommt, Wüsten durchströmen, die jedenfalls salzig sind. *Ochsenius* glaubt die Ursache darin zu finden, daß die Vegetation an seinen Ufern stark genug ist, um die salinischen Bestandteile des Wüstenwassers, welche den Salzgeschmack desselben hervorrufen, in nicht salzig schmeckende umzusetzen. Die Pflanzen, z. B. Elymus, Triticum, Stipa, Lasiagrostis, Aristida usw., ferner die Kulturpflanzen Roggen, Weizen, Buchweizen sind infolge ihres massenhaften Auftretens an den Ufern des Balchaschsees imstande, die von den Zuflüssen herangebrachten Salzmengen, besonders des Magnesiums, Magnesiumchlorids und Magnesiumsulfats, in unschädliche Carbonate und Sulfate usw. zu verwandeln. Ob diese Hypothese richtig ist, muß dahingestellt sein.

Wie schon oben bemerkt, ist auch der Balchasch im Steigen begriffen; *Berg* fand die von Wjernyj kommende Landstraße an seinem westlichen Ufer unter Wasser stehend. Über die augenblicklichen Verhältnisse bin ich nicht orientiert. Auch die östlich von ihm gelegenen Steppenseen, der Sassykkul und der Alakul, welche in einer früheren Zeitepoche unzweifelhaft mit ihm zusammengehangen haben und nach *Meister*[2]) wahrscheinlich tektonisch einem Grabenabbruch entsprechen, steigen an und es ist nicht ausgeschlossen, daß sie dereinst wieder einen einzigen großen See bilden werden. *Berg* tritt mit aller Entschiedenheit der An-

[1]) Hebungen und Verhinderung des Versalzens abflußloser Becken. Monatsber. der Deutschen Geol. Gesellschaft, 1904, Nr. 3.

[2]) Geologische Beschreibung der Reise von Semipalatinsk nach Wernyi (Mém. Com. géol. St. Pétersbourg, 1909, N. S., Lieferung 51); L. b., P. M., 1910, II, S. 270.

schauung entgegen, als seien alle diese Seen typische Austrocknungsseen, wie man früher angenommen hatte und auch *Woeikow* hat sich ihm durchaus angeschlossen.

Der in 1630 *m* Meereshöhe gelegene Issykkul, ein großartiger echter Hochgebirgssteppensee, den *M. Friedrichsen*[1]) ein tektonisch bedingtes Synklinalbecken zwischen antiklinalen Kettenzügen nennt, hat nach ihm eine Größe von 5122 $km^2$, während *Berg*[2]) ihm ein Areal von rund 6000 $km^2$ gibt, soll an seinem südlichen Ende 420 *m*, in seinem mittleren Teile etwa 250 *m* Tiefe erreichen. Eine Tiefenkarte von ihm scheint noch nicht zu existieren, vermutlich, weil es noch an einer genügenden Zahl von Lotungen fehlt. Sehr wahrscheinlich hat der Chufluß, von welchem jetzt nur noch sehr wenig Wasser in den See gelangt, und zwar nur durch kleine Zutlüsse, ihn in einer früheren Zeitperiode durchflossen und daher rührt es wohl, daß sein Salzgehalt nur unbedeutend ist. *Berg* hat in dem oben zitierten Aufsatz übersichtlich zusammengestellt, was bis dahin vom See bekannt war und hat dabei seine eigenen Beobachtungen während einer kurzen Reise im Jahre 1903 an geeigneter Stelle angebracht, z. B. über die Zunahme des Wasserstandes in den letzten Jahren (S. 30 ff.), über die Konglomerate in der Buranschlucht (S. 39) und die Resultate der meteorologischen Beobachtungen zusammengefaßt. Er selbst fand mehrere hundert Fuß über dem See deutlich ausgeprägte alte Uferterrassen und *M. Friedrichsen* in der Nähe von Kutenaldy am Ula-chol solche von 135 *m* Höhe über dem jetzigen Wasserspiegel und sagt (a. a. O.) wörtlich: „Selten wird man bessere Gelegenheit haben, einen gleich lehrreichen Blick auf einen austrocknenden Binnensee zu tun als an jener Stelle, wo man hinüberblicken kann auf die Nordufer des Sees." *Prinz*[3]) fand bei seinem allerdings nur flüchtigen Besuch des Sees 4 Terrassen oberhalb desselben in 1670, 1700, 1750 und 1850 *m* Durchschnittshöhe; an verschiedenen Stellen des ausgedehnten Seeufers liegen nämlich die Terrassen nicht immer in gleicher Höhe.

Unzweifelhaft hat also der See in früheren Zeitepochen einen weit höheren Stand erreicht als jetzt und das Steigen seines Wasserstandes nach einem Tiefstande im Zeitraum 1859—1897[4]) ist absolut genommen etwa dem geringen Vorrücken einiger Alpengletscher um das Jahr 1900 gegenüber ihrem allgemeinen Rückgang zu vergleichen. *Diener* und *Andrussow* haben wiederholt die Ansicht ausgesprochen, daß die säkularen Wasserstandsänderungen des Issykkul und anderer Seen in Turkestan und Zentralasien vielleicht weniger mit Änderungen in den Niederschlagsmengen,

[1]) Forschungsreise in den zentralen Tien-schan und Dsungarischen Ala-tau im Sommer 1902. Mitt. d. Geogr. Gesellsch. Hamburg, Bd. 26, 1904.

[2]) Semlevedenje, 1904, II, 1/2 (russisch). Ref. im Globus, Bd. 86, 1904 und G. J., Dezemberheft, 1905.

[3]) Vergletscherung des Tien-schangebirges in den Mitt. d. k. k. Geogr. Gesellsch. in Wien, VIII, 1909.

[4]) Seit 1905 soll der Wasserstand nach *A. Sedelnikow* wieder etwas gesunken sein.

sondern mit tektonischen Veränderungen ihrer Umgebung in Zusammenhang gebracht werden müssen, die bekanntlich reich an vulkanischen Bildungen ist. Da man alte Gebäude, also die Produkte menschlicher Ansiedlungen, gerade am Ostende des Issykkul unter Wasser gesehen hat, liegt der Gedanke einseitiger Hebungen bzw. Senkungen des Ufers recht nahe, der übrigens z. B. auch am Aralsee dem Einsichtigen aufstoßen muß, wenn er von dem enormen Ansteigen des Wasserstandes liest (vgl. die Bemerkungen zu den Bewegungen des Ufers an den Seen des St. Lorenzstromes (S. 5) und des Victoria Njansa (S. 24). *Davis* und *Huntington*, die Begleiter der auf Kosten der Carnegie-Institution unternommenen Pumpelly-Expedition in Turkestan[1]), welche unter anderen die Aufgabe hatte, die Frage zu untersuchen, ob die dortigen Gegenden in vorgeschichtlicher Zeit bedeutende Klimaänderungen erfahren haben, die in einem Austrocknungsprozeß sich äußern, machen darauf aufmerksam, daß alle Bemühungen, Beziehungen zwischen den Wasserständen von Seen und Gletscherperioden aufzustellen, bis jetzt nur als Versuche angesehen werden können; die Schlammabsätze eines höheren Seeniveaus können ebensowohl den Anfang des einen wie das Ende einer anderen Glazialepoche darstellen.

*Prinz* a. a. O. hält daran fest, daß die Niveauerhebungen des Issykkul und anderer turkestanischer Seen in der neuesten Zeit nur durch vermehrte Niederschläge erfolgt sein können. *Saposchnikoff*, der Botaniker der Universität Tomsk, hat auf einer seiner zahlreichen Forschungsexpeditionen in diesen Gegenden auch ein Steigen des Saisan-nor im Altai feststellen können.[2]) *Merzbacher*[3]) hat in dem sonst äußerst seearmen Tianschan noch mehrere kleine Seen auf der Höhe der Westumrandung des Saikaltals entdeckt, so einen von den Kirgisen Karakol, von den Kalmaken Nura-nor genannten See in 2450 *m* Meereshöhe, der etwa 500 bis 600 *m* lang und 350 *m* breit ist und noch durchaus nicht den Eindruck des Einschrumpfens macht; er besitzt keinen sichtbaren Abfluß. In 3450 *m* resp. 3400 *m* Meereshöhe fand er den sehr seichten Akkul = Weißersee und den Karakul, der etwa 850 *m* lang und 400 *m* breit ist und durch ein Moränenwall gestaut ist.

Auf der Südseite des Tianschan oder vielmehr des Terek-tag liegt nahe der chinesischen Grenze in 3430 *m* Meereshöhe der Tschatyr-kul,

[1]) Explorations in Turkestan. Expedition of 1903 under the direction of Raphael Pumpelly. Washington, Carnegie Institution, 1905. Ref. von *Friedrichsen* in P. M., 1906, S. 65.

[2]) Vgl. *J. Schokalsky*, Les niveaux des lacs en Russie. Ann. de Géogr., 1909. Nr. 102. Auch der Tschatyrkul, Achtikul, Alakul sind nach seinen Mitteilungen gestiegen, der Imantav stieg bis 1905, fiel 1906 und ist 1907 wieder stark gestiegen, während der Babakul stationär geblieben ist. *Schokalsky* macht ausdrücklich darauf aufmerksam, daß das Fallen und Steigen der Seen in dem weiten Gebiet zwischen 56 und 40° nördlicher Breite bis zum Baikal im Osten keineswegs einen Zusammenhang mit der *Brückner*schen Klimaperiode erkennen lassen.

[3]) Reisen im Tianschan. Ergänzungsheft 149 zu P. M., 1904.

von welchem *Bogdanowitsch*[1]) eine Karte in 1 : 168.000 gezeichnet hat, wonach sein Areal etwa 180 $km^2$ beträgt. Systematische Lotungen scheint er nicht vorgenommen zu haben: an seinem Ostende wird er nur wenige Meter tief. *D. Carruthers*[2]), welcher den See 1909 besuchte, gibt ihm eine Meereshöhe von 3360 $m$. Die Gegend ist rauh und windig, die Ufer meist sumpfig; der See bildet eine schwach ausgeprägte Wasserscheide, westlich zur Arpa, östlich zum Aksai.

*Huntington* untersuchte[3]) auf seiner zentralasiatischen Reise den bisher nur sehr oberflächlich bekannten Bagraschkul, der in etwa 900 $m$ Meereshöhe nach ihm beinahe 100 $km$ lang wird, aber nirgends über 3 $m$ tief zu werden scheint. Er ist sowohl im Norden wie im Süden durch rezente Falten eingeschlossen; seine Ufer sind sehr unregelmäßig, zahlreiche Dünen fanden sich sowohl auf Inseln im See selbst, wie an seinen Ufern, sie erreichen eine Höhe bis 90 $m$ und geben dadurch der Landschaft ein ganz besonderes Gepräge. Sehr wahrscheinlich wurde er in früheren Zeitepochen durch den Kontje-Darla durchflossen, an welchem die Stadt Korla liegt. Dieser Fluß fließt jetzt nach *Huntingtons* Beobachtungen gar nicht mehr durch den See und es gelangt nur wenig Wasser von ihm in den See hinein, also ein ähnliches Verhältnis wie beim Issykkul im großen. Östlich davon liegt die Turfanebene, bekanntlich die tiefste Landdepression der Erde, deren tiefster Teil von einem stark salzhaltigen See eingenommen wird, dessen Niveau 130 $m$ unter dem Meeresspiegel liegt. Auch diesen See hat *Huntington*[4]) besucht. Die ganze Gegend spiegelt das Lob-nor-Problem (siehe unten) im kleinen wieder. Viele Reste einer einst hohen Kultur sprechen dafür, daß sie etwa in der letzten Hälfte des ersten Jahrtausends nach Christus reichlich Niederschläge besaß und infolgedessen dicht bevölkert war und in hoher materieller und geistiger Blüte stand. Selbstverständlich war zu jener Zeit der See Bodschant bedeutend größer. Zu Beginn etwa des zweiten Jahrtausend verschlechterten sich die klimatischen Bedingungen, die Bevölkerung verminderte sich und die Kultur verschwand allmählich von der Turfandepression, welche zurzeit nach *Huntingtons* Beschreibung einen unsäglich traurigen Eindruck macht.

Am anderen Ende Hochasiens, im Hochland Pamir, hat *Olufsen*, der Leiter der zweiten dänischen Expedition, die im Tal des Aletschur gelegenen Seen, die einst alle miteinander in Verbindung standen, näher untersucht.[5]) Der größte von ihnen scheint der Jaschilkul zu sein, von dem er eine Tiefenkarte in 1 : 75.000 entworfen hat. Auf Grund deren berechnete ich sein Areal zu 47 $km^2$, sein Volumen zu 0·8 $km^3$, seine mitt-

[1]) Nachrichten der Kaiserl. Russ. Geogr. Gesellschaft, Bd. 36. St. Petersburg 1900.

[2]) Notes on a journey to the Arpa and Ak-sai plateau in Russian-Turkestan. G. J., Vol. 36, 1910.

[3]) An archipelago of sand-dunes in a lake of Central Asia. Bull. Amer. Geogr. Soc., 40. 1. New York 1908.

[4]) The depression of Turfan. G. J., 1907, Vol. 30.

[5]) Zeitschr. Dänische Geogr. Gesellsch. Kopenhagen 1900/01.

lere Tiefe zu 17 *m* (größte Tiefe 40 *m*), seine mittlere Böschung zu 2°. Allerdings liegen im ganzen nur 130 Lotungen vor. Seine Meereshöhe gibt *Olufsen* einmal zu 3698 *m*, das andere Mal zu 3910 *m* an. 3 *km* südöstlich von ihm liegt der bedeutend kleinere und nur bis 2 *m* tiefe Bulumkul in 3760 *m* Meereshöhe und östlich davon der Tuskul. Außerdem fand *Olufsen* noch 2 mit Moränenwällen umgebene kleine Seen von 4240 *m* Meereshöhe in der Nähe des Khargoschpasses.

Wir gehen nunmehr zur Darstellung der Seenforschungen im eigentlichen Zentralasien über, welche besonders durch ihre Beziehungen zur Austrocknungsfrage allgemeines Interesse gewonnen haben, in der sich die Ansichten noch immer diametral bekämpfen. Trocknet Mittelasien ununterbrochen seit historischer Zeit aus oder sind die Austrocknungserscheinungen der Jetztzeit nur eine Episode in einer säkularen Klimaschwankung, der wieder eine feuchtere Periode folgen dürfte?

Es handelt sich hier besonders um den Lob-nor zwischen den beiden großen Wüsten Takla-Macka im Westen und Kum-Tag im Osten und um die zahlreichen Seen des eigentlichen Tibet.

Der Lob-nor hat durch die Untersuchungen der berühmtesten Geographen und Reisenden ihrer Zeiten, *v. Richthofen* und *Sven Hedin*, eine gewisse Berühmtheit gewonnen. Ersterer hatte die Ansicht ausgesprochen[1]), daß der Salzsee Lob-nor der Chinesen und der mit Süßwasser gefüllte See, welchen *Prschwalsky*[2]) östlich von diesem entdeckt hatte, unmöglich miteinander identisch seien. *Sven Hedin* hatte während seiner zweiten großen Reise durch Asien[3]) festgestellt, daß der Fluß Tarim sich teilweise in eine Seenkette ergießt, welche in der Gegend des chinesischen Lob-nor liegt, und bei dieser Gelegenheit Gründe dafür angeführt, daß die Süßwasserseen von *Prschwalsky* sich erst im Jahre 1720 gebildet haben. Er schloß ferner, daß eine gegenseitige Beziehung besteht zwischen den beiden Lob-nors in der Weise, daß das Wasser in dem einen sinkt, wenn es im anderen steigt, und daß das Wasser der fünf Seen des nördlichen Lob-nor durch die Sandstürme (Burane) ein wenig in westlicher Richtung bewegt wird. Er entdeckte dabei an dem Fuße des Kurruk-Tag das Becken eines ausgetrockneten Salzsees, welches er für den wahren Lob-nor der Chinesen hielt und fand gleichzeitig, daß der Lob-nor von *Prschwalsky* sich in nördlicher Richtung ausgedehnt habe, nach Süden zu aber zusammengeschrumpft sei, der alte Lob-nor existiert also nicht mehr, an

[1]) Bemerkungen zu den Ergebnissen von Oberstleutnant *Prschwalskys* Reise nach dem Lob-nor und Altyn-tag. Verh. d. Gesellsch. f. Erdkunde, Berlin, Bd. V, 1878, S. 121 ff.

[2]) *Prschwalsky*, Reise nach dem Lob-nor und Altyn-tag 1876/77. P. M., Ergänzungsheft 53.

[3]) Scientific Results of a Journey in Central Asia 1895/1902, Bd. II. Lob-nor, vgl. G. J., Bd. 21, 1903 und Die geographisch-wissenschaftlichen Ergebnisse meiner Reisen nach Zentralasien 1894/97. P. M., Ergänzungsheft Nr. 121, 1900 und The Lob-nor Controversy. G. J., Vol. 11, 1898.

seiner Stelle befindet sich jetzt eine Anzahl viel kleinerer Seen, die sich erst neu gebildet haben.

Um das Lob-nor-Problem endgültig zum Abschluß zu bringen, führte *Hedin* jenes berühmte über die geringsten Niveauänderungen auskunfterteilende Präzisionsnivellement von den Ruinenfeldern von Lou-lan bis zur Wasserfläche des Kara-koschum aus — 8·16 *km* —, durch welches er bewies, daß infolge der Reliefs der Landes ein See im Norden existiert haben konnte und ebenso eine Depression vorhanden war, die ehemals das Bett des alten Lob-nor bildete. Bei den außerordentlich geringfügigen Niveauunterschieden können durch die von Osten wehenden Winde mit leichter Mühe ein etwa vorhandenes flaches Seebecken schnell mit Sand, Schlamm und Pflanzenüberresten zudecken, während an einer anderen Stelle der Wind die Oberflächen stärker erodiert und so ein neues Seebecken schafft, in dem sich nun bald eine neue Vegetation ansiedelt und ein Tierleben entfaltet.

Dr. *Aurelius Stein*[1]) berichtet, daß zur Zeit seines Besuches (7 Jahre später) diese neuen Seen schon wieder verschwunden seien. Es geht hieraus wohl sicher hervor, daß der Tarim infolge der Beschaffenheit des Bodens und der Heftigkeit der vorherrschenden Ostwinde seinen Ausfluß schnell zu verlegen imstande ist, und leicht größere Seen dort bilden kann, wo vorher keine waren, sofern sie so außerordentlich flach sind wie die Lob-nor-Seen. *Hedin* wehrt sich gegen die Annahme, daß die Veränderungen der Seen irgend einen Zusammenhang haben mit Klimaschwankungen säkularer Natur in historischen Zeiten, glaubt vielmehr an einen Zusammenhang mit Klimaschwankungen von kürzerer Periode, etwa im Sinne *Brückners*.

*Huntington* ist in bezug auf die Geschichte des Lob-nor vielfach anderer Ansicht als *Sven Hedin*. Er glaubt, daß der heutige Kara-Koschumasumpf, der kleine Rest des ehemaligen Lob-nor, zwischen dem 3. und 8. Jahrhundert n. Chr. etwas nördlich davon lag. Das Klima jüngerer geologischer Zeiträume muß viel veränderlicher gewesen sein, als man gewöhnlich annimmt. Er fand 6 verschiedene Strandlinien in verschiedener Höhe und schiebt den Wechsel in der Lage der Seen in der Hauptsache den Änderungen im Laufe des Tarim zu. Im historischen Mittelalter war er größer als jetzt, denn zwei alte Straßen, welche das verlassene Ufer berühren, wären kaum benutzt worden, wenn die heutige kürzere Route damals schon vorhanden gewesen wäre. Die Lob-nor-Frage ist dadurch in eine neue Phase getreten, daß der schwedische Dichter *August Strindberg* in der Stiftsbibliothek von Linköping eine Karte des Lob-nor und seiner Umgebung von einem gewissen *Renatus* entdeckte, welcher als Wachtmeister bei der Artillerie 1716 in die Gefangenschaft der Kalmücken geriet und bei dieser Gelegenheit jene Karte zeichnete, deren Original in der Bibliothek

[1]) Ancient Khotan. Detailed Report of arch. exploration in Chines. Turkestan. Oxford 1907; id. Explorations in Central Asia 1906-08. G. J., Vol. 34, 1909.

zu Upsala sich befindet. Diese Karte trägt das Jahresdatum 1738 und ist nach *Hedins* Ansicht[1]) durchaus Original. Es geht aus dieser klar hervor, daß *Sven Hedins* Ansichten über das Wandern des Lob-nor die richtigen sind, und daß auf der anderen Seite schon vor *Hedin* ein anderer Schwede dieses weltentlegene Gebiet ausführlich kennen lernte.[2])

Von den Seen des Hochlandes Tibet wissen wir trotz der Bemühungen zahlreicher Reisenden des letzten Jahrzehnts, unter denen *Sven Hedin* unbedingt an erster Stelle zu nennen ist, eigentlich immer noch ziemlich wenig. Mir sind z. B. nur von einigen nur kleinen Seen in unmittelbarer Nähe des Tarim, dem Karaumelik-kol, Ullugh-kol und Begelik-kol, welche *Hedin* im ersten Band seines monumentalen Werkes: Scientific Results of a journey in Central Asia 1895/1899, Leipzig 1908 näher beschreibt, Tiefenkarten bekannt geworden. Der zuerst genannte ist 585 *ha* groß, hat eine Maximaltiefe von 9·40 *m* und ein Volumen von 32 Millionen Kubikmeter; für die nächsten beiden Seen sind die Zahlen 1486 *ha*, 10·0 *m* und 69 Millionen bzw. 30 $km^2$, 11 *m* und 110 Millionen Kubikmeter. Von den vielen Seen im eigentlichen Tibet, die *Hedin* auf seiner zweiten Reise oft unter größter Lebensgefahr ausgelotet hat, finden wir wohl einzelne Tiefenangaben, namentlich im 4. Band seines großen Werkes, welcher Zentral- und Westtibet behandelt, aber keine systematische Darstellung mit Karten. Dagegen beabsichtigt er (P. M., 1910, II. 1), die Resultate seiner dritten großen Reise 1906/1908 zu einer übersichtlichen morphologischen Beschreibung Tibets, so wie er selber das Land kennen gelernt hatte, zu geben, und zwar unter Benützung der von anderen Reisenden erzielten Resultate. Diese neue Arbeit soll in 3 Bänden Text und 2 Bänden Atlas in diesem Jahre bzw. 1913 erscheinen und wird sicherlich in Bd. II, welcher Monographien über die physische Geographie Tibets enthalten soll, auch die Resultate seiner Seenforschungen nicht bloß auf der dritten, sondern auch auf den beiden ersten Reisen ausführlich darstellen. Genauer ausgelotet sind auf seiner letzten Reise nach den bisherigen Mitteilungen[3]) folgende Seen: der Lake Lighten (5093 *m* hoch) auf der Südseite des Aksai-Tschin (größte Tiefe 48·5 *m*[4]), der Jeschil-kol (4940 *m* hoch) östlich vom ersteren (größte Tiefe 16 *m*), der Ngangsa-tso (4699 *m*) östlich vom heiligen See Dangra-jum-tso, den

[1]) The Pulse of Asia. A Journey in Central Asia, illustrating the Geogr. Basis of History. London 1907. C. G. J., Vol. 29. 1907, S. 674.

[2]) P. M., 1911. I. H. 2. *A. Strindberg* und Dr. *Sven Hedin*, Renatus' Karte über den Lob-nor.

[3]) Ich entnehme diese Angaben seinem populären Reisewerk: Transhimalaja. 2 Bde., Leipzig 1909; in seinen Berichten über die wissenschaftlichen Ergebnisse seiner Reise, die er im P. M. (s. o.) und im G. J., 1909, Aprilheft, gibt, hat er über seine Seenforschungen im einzelnen nichts erwähnt.

[4]) In einem Bericht *Hedins* an die Londoner Geogr. Gesellschaft (G. J., Vol. 29. 1907, S. 540) bemerkt er dagegen, daß dieser See tiefer als 68 *m* sein müßte, da seine so lange Lotleine den Grund nicht erreicht habe! Nach *Rawling*, Explorations of Western Tibet and Rudok (G. J., 1905, Vol. 25), erreicht er eine Größe von ca. 160 $km^2$.

*Hedin* nicht besuchen konnte, mit einer Maximaltiefe von 10 *m*, den Manasarovar (4602 *m*) mit 82 *m* Maximaltiefe, der größten Tiefe, die *Hedin* bis jetzt in einem tibetischen See gefunden hatte. Diesen See hat *Hedin* am ausführlichsten untersucht und in ihm 120 Lotungen gemacht: er steht mit dem westlich von ihm gelegenen Langak-tso (größte Tiefe 34 *m*) in nassen Jahren oberirdisch in Verbindung, während die unterirdische Verbindung wahrscheinlich stets vorhanden ist. Der Kanal zwischen beiden Seen ist 9336 *m* lang, ihr Höhenunterschied beträgt nur 13·45 *m*. Bekanntlich hat der Nakkong-tso (größte Tiefe 22 *m*) in der Nähe des großen Selling-tso, der in seinen Buchten und Ufern an die norwegischen Seen und Fjorde erinnert, ihn zuerst auf den Gedanken gebracht, daß er, wie die meisten tibetischen Seen, seine Entstehung einer früheren Vergletscherung des Landes verdanke.

Während in der nördlichen Hälfte Mittelasiens, in der Mongolei und in den angrenzenden Gebirgen, die Vergletscherung auch in geologischer jugendlicher Zeit eine bedeutende gewesen sein muß[1]), fanden weder *Hedin* noch seine berühmten Vorgänger auf den Reisen in Tibet deutliche Spuren einer Glazialzeit und noch *v. Richthofen* hat für jenes Gebiet nicht daran geglaubt. Die meisten Seen Tibets liegen allerdings in der Nähe der größten Gebirge, welche früher bedeutend mehr vergletschert waren als heute, wahrscheinlich sind aber etwaige Gletscherspuren inzwischen längst schon durch Erosion und Denudation verwischt worden. An sehr vielen Seen lassen sich die Uferterrassen früherer höherer Wasserstände sehr deutlich erkennen, so unter anderem am Salzsee Dangra-jum-tso, am Selling-tso. An diesem liegen die 4 bedeutensten Uferterrassen in je 10, 30, 45 und 50 *m* Höhe über der jetzigen Wasseroberfläche. Jeder Wall besteht aus sterilem Schutt, während die Einsenkungen zwischen ihnen mit Gras bewachsen sind. Die Schuttwälle waren so deutlich markiert und folgten der Krümmung der jetzigen Uferlinie, wie sich *Hedin* ausdrückt[2]), wie die Bankreihen eines Amphitheaters. Am Lakkor-tso kann man an einzelnen Stellen an 18 Stufen sehen, welche sämtlich den Wasserspiegel früherer Zeitperioden darstellen. Die höchste dieser Terrassen befindet sich 133 *m* über der jetzigen Wasserfläche. Damals muß der See demnach eine sehr bedeutende Ausdehnung und eine ansehnliche Tiefe erreicht haben. Ähnliche verhältnismäßig tiefe Salzbecken finden wir an den Seen Porutse-tso, Luma-ring-tso und Tsollaring-tso und mehreren anderen. Alle sind von kolossalen Salzablagerungen umgeben, und überall finden wir die alten Uferlinien. Besonders deutlich zeigten sich die Abrasionslinien an den

[1]) *Granö* (Fennia, Bd. 28, Nr. 5. Ref. im Globus, Bd. 98, Nr. 8, 1910) hat aus seinen Beobachtungen den Schluß gezogen, daß die größte Ausdehnung diluvialer Gletscher an den Grenzen von Sibirien und Nordwestmongolei etwa 10.000 $km^2$ bedeckt habe und daß die Grenze der Vereisung 1000–1500 *m* tiefer lag als heute. Im westlichen Tianschan lag nach *Machaček*, Zeitschr. d. Ges. f. Erdk. in Berlin, Februarheft, die Schneegrenze während der Eiszeit nur 550—600 *m* tiefer als heute.

[2]) Seen in Tibet, Zeitschr. der Ges. f. Erdkunde, Berlin 1903, S. 344 f.

gegen Westen abfallenden Abhängen infolge des vorherrschenden Westwindes, der fast so regelmäßig weht wie die Passatwinde. Auch sind die Terrassen um so kräftiger entwickelt, je höher sie über dem jetzigen Niveau des Wassers liegen, offenbar weil die Perioden, welche durch die höheren Terrassen bezeichnet sind, längere Zeit gedauert haben, und die Brandung infolge des größeren Seeareales kräftiger war. Im äußersten Westen des tibetischen Hochlandes hat *Hedin* noch die Seen Tso-ngombo und Panggong-tso näher untersucht. Sie haben zusammen eine Länge von mindestens 140 *km* und eine sehr wechselnde Breite, die bis auf 20 *m* bis auf einige Stellen zurückgeht. Die Maximaltiefe des zuerst genannten Sees wurde zu 32 *m* gefunden, meist nahm die Tiefe nach Osten zu ab. Auch hier sind Uferterrassen sehr deutlich; am Tso-ngombo lag die höchste am Nordufer $19^1/_2$ *m* über der Seeoberfläche, an den Flußarmen zwischen den Seen fanden sich am Südufer, das dem Westwind mehr ausgesetzt gewesen ist, Terrassen bis zu 50 *m* über dem Fluß; am Panggong-tso (größte Tiefe 47·5 *m*) bis 54 *m* über dem See. An den Ufern der meisten Seen, auch der jetzt salzigen, hat *Hedin* Schalen und Scherben von Süßwasserschnecken gefunden, und sicher bildeten die beiden zuletzt genannten Seen früher einen Süßwassersee, der zum Indus abwässerte. Durch Austrocknung wurde er durch diesen Strom abgeschnitten, allmählich verkleinert und salzreicher, gleichzeitig aber der Indus wasserärmer.

*Hedin* glaubt, daß die verhältnismäßig niedrige Temperatur und die Luftfeuchtigkeit der Eiszeit bei der kontinentalen Lage des Landes auf die Seen einen viel größeren Einfluß ausgeübt haben als auf die Gletscher und schreibt offenbar dieser Wirkung die Tatsache zu, daß die Seen meist sehr viel größer und zahlreicher gewesen sind als heute, obwohl die Vergletscherung kaum wesentlich größer gewesen ist als jetzt. So viel ich ihn verstehe, ist er nicht der Ansicht, daß die Austrocknung und Verkleinerung der Seen Tibets unaufhaltsam und ohne zeitweilige Wiederauffüllung vor sich geht, aber er ist davon überzeugt, daß der jetzigen Zeitepoche in Tibet eine andere voranging, die er pluviale nennt, in welcher die Niederschläge stärker waren als jetzt, ohne daß deswegen notwendig die Gletscher einen wesentlich größeren Umfang einnehmen. Dieselbe Tatsache, was das pluviale Zeitalter anlangt, begegnen wir unstreitig auch in Turkestan und Westsibirien; nur sind dort die Perioden feuchterer und trockenerer Jahre weniger intensiv ausgebildet, hauptsächlich weil infolge der weit geringeren Seehöhen und aus anderen Gründen die Menge der Niederschläge absolut weit geringer und daher auch der Betrag der Schwankungen viel kleiner ist.

Auf demselben Standpunkt steht im ganzen *Berg* auf Grund seiner reichen Erfahrungen besonders in Turkestan und Westsibirien, der das Verschwinden vieler ehemaliger Städte und Kulturen in Mittelasien, welche das Hauptargument der Austrocknungstheoretiker, deren Haupt gegenwärtig *Huntington* ist, bildet, nicht auf klimatische Änderungen, sondern in der Hauptsache auf Zerstörung durch Menschenhände, insbesondere

durch Mongolen, begründet. Vielleicht wird schon die wissenschaftliche Darstellung der letzten Reise *Hedins*, deren Veröffentlichung wir mit größter Spannung entgegensehen, mehr Licht in das Dunkel früherer Zeitepochen Mittelasiens bringen.

Mehrere Forschungsreisen teils gleichzeitig, teils vor und nach *Hedins* letzter Reise haben besonders den Seen in Nordwesttibet gegolten. So hat *Zugmayer*[1]), welcher im Gegensatz zu *Berg* von einem beständigen Austrocknen von Zentralasien spricht, sich mit dem größten Süßwassersee Tibets, dem Apo-tso = Großvatersee beschäftigt, über welchen die bisherigen Mitteilungen sehr auseinandergingen. Nach *Zugmayer* hat der See in seiner Nordoststrecke einen Abfluß, aber nur bei ausnahmsweise höherem Wasserstand, sonst ist er abflußlos; 4 Terrassen, die namentlich an seinem Westufer deutlich hervortreten, zeigen seinen einst viel größeren Umfang an, die höchste Terrasse erhebt sich etwa 8 *m* über dem heutigen Spiegel des Sees. Da sich zurzeit die zufließende Wassermenge und die Verdunstung etwa die Wage halten, ist sein Wasser schwach brackig. Die Annahme eines bedeutenden unterirdischen Abflusses ist irrig. Aus dem Steilabfall der 4 im See befindlichen Inseln läßt sich auf eine bedeutende Tiefe zwischen dem Ostufer und den Inseln schließen, während das Westufer sehr flach ist und breitgestreckte Sandbänke aufweist. Nach *Bower*[2]) ist übrigens nicht dieser See, sondern der ca. 100 *m* höher gelegene Horpa-tso der höchste See Tibets (5470 *m*). Auch der Jeschilkul = grüner See, der 5 *m* tief wird, zeigt eine fast ununterbrochene Strandlinie über seinem jetzigen Niveau und ist wahrscheinlich mit dem Apo-tso und dem Manga-tso, welche sämtlich in einem Einsturzgraben liegen, früher ein einziger tiefer See gewesen. Die Seen Sagiskul, Atochikkul und Ullugkul, welche jetzt bittersalziges Wasser besitzen, hatten früher einen Abfluß, wie noch deutlich sichtbar, und demnach süßes Wasser. In derselben Gegend bewegte sich die Expedition, welche Kapitän *C. G. Rawling*[3]) mit Unterstützung der Londoner Geogr. Gesellsch. ausführte. Er entdeckte im Nordosten des schon oben genannten Horpa-tso zahlreiche Süß- und Salzwasserseen, von denen der größte, der teilweise süßes Wasser enthält, und ein Areal von 180 $km^2$ besitzt, den Namen Lake Markham erhielt. Es münden viele kleine Flüsse in ihn. Andere Seen in dortiger Gegend sind verschwunden und haben trockene Salz- und Sodabecken zurückgelassen, alle aber haben an Ausdehnung verloren, und zwar, wie *Rawling* meint, durch Verminderung des Schneefalls. *Ellsworth Huntington*[4]) hat auch wie *Hedin* den Manasarovar, der zum erstenmal von *Moorcroft* und *Hearsey* im Jahre 1812 besucht wurde[5]), und den Panggong-tso näher untersucht.

[1]) Eine Reise durch Zentralasien im Jahre 1906. Berlin 1908; cf. P. M., 1909, Heft 7, G. J.

[2]) Across Tibet. London 1894.

[3]) Exploration of Western Tibet and Rudok. Bull. Amer. Geogr. Soc., Vol. 39, 1907.

[4]) Panggong a glacial lake in the Tibet plateau. Journ. of Geol., Chicago 1906, Bd. XIV.

[5]) G. J., 1905, Bd. 26

Dieser schon zu Ladak gehörige See ist der niedrigste und westlichst gelegene einer ganzen Reihe von Seen, die nach Westen abwässern: er ist durch einen Felsriegel abgeschlossen und durch Erosion des abfließenden Eises entstanden. In seinen Formen gleicht er den Gebirgsseen Norwegens. lukustre Ablagerungen und Strandlinien beweisen ein häufiges Schwanken seines Wasserspiegels.

*Graham Sandberg*[1]) beschäftigt sich im 4. Kapitel seines Buches mit Abflußseen und abflußlosen Seen. Fast alle werden nur durch Schnee gespeist, keiner durch irgend einen erheblichen Fluß. Ihr Einzugsgebiet ist also außerordentlich klein, ihr schnelles Verschwinden demnach ganz natürlich. Das Wasser ist besonders reich an Borax und Soda. Nur wenige haben einen erheblichen Ausfluß, sie sind daher bei ihrer Seichtheit unverhältnismäßig groß. Meist befinden sich in ihrer nächsten Nähe Geysirs, die sonst nicht vorkommen und die Wirkung von Siphons haben. Niemals liegen sie in den Flußtälern selbst, sondern in höheren flachen Talgründen, oft in langen Kettenreihen. Die meisten liegen im Nordwesten des Landes. Auch nach ihm ist der Horpa-tso mit 5400 *m* Meereshöhe der höchstgelegene. Die meisten Seen nördlich der Zentralkette führen nicht den Namen tso = See, sondern Ats' akka = Salzlacke.

Unmittelbar unter dem Himalaja liegt das Seengebiet Sikkims, das im Jahre 1871 *Ludwig v. Loczy* besuchte: sein Bericht, den er erst vor kurzem veröffentlichte[2]), ist um so wertvoller, als die Engländer den Zutritt zu dieser Gegend den Fremden neuerdings hermetisch verschließen. Es ist ein klassisches Gebiet der durch Gletscherarbeit entstandenen „Meeraugen". Auf der Karte dieses Gebietes von Sir *Richard Temple*[3]) sind am westlichen Abhang des Bergrückens 10 Seen eingezeichnet: auf den, vom chinesischen Seezollamt herausgegebenen Karten (1884, Maßstab 1 : 63.344) finden sich 36 kleinere und größere Seen, von denen 28 auf die westliche Seite des Rückens entfallen, sie liegen in etwa 5300 *m* Meereshöhe. Die Angaben über ihre Größe schwanken. *Loczy* schätzt den Bidan-tso für den größten (2·5 $km^2$); jedenfalls sind sie größer als die Meeraugen der Tatra und *Temple* ist mehr geneigt, sie für Rücken- als für Karseen zu halten.

In Nordosttibet hat *Filchner*[4]) 31 Seen näher untersucht, die zum Teil Süßwasser, zum Teil Salzwasser enthalten und den Charakter von Klärungsbecken und Abdämmungsseen tragen: ihre mittlere Meereshöhe beträgt etwa 4000 *m*. Die größten unter ihnen sind die nur durch eine 11 *km* lange Landstrecke unterbrochenen Oring-nor und Jaring-nor von 780 bzw. 630 $km^2$ Fläche; sie scheinen beide seicht zu sein, während der drittgrößte, der durch die azurblaue Farbe seines Wassers ausgezeich-

[1]) Tibet and the Tibetans. London 1906.
[2]) Földrajzi-Közlemények, Bd. 35, H. 9. Budapest 1907.
[3]) The lake-region of Sikkim. Proc. Roy. Geogr. Soc. of London 1881. Bd. III.
[4]) Zeitschr. d. Gesellsch. f. Erdkunde in Berlin, 1908, Nr. 1.

nete Posson-nor mit 265 $km^2$ Areal eine beträchtliche Tiefe erreichen mag. Leider konnten keine Lotungen gemacht werden, weil es an seetüchtigen Fahrzeugen fehlte. Nach Angaben der Eingeborenen soll der 12·5 $km^2$ große Tsodyára-nor eine Tiefe von 100 $m$ erreichen. Der Wasserstand dieser Seen steigt und fällt mit dem des Matschu (oberen Hoangho).

In dasselbe Gebiet fallen die Reisen von *Kozloff*.[1]) Er gibt den beiden Hoanghoseen eine Meereshöhe von 4170 $m$. Während die Ufer aus Kies bestehen, kommt namentlich im Oring-nor ein aus Diatomeen bestehender roter Schlamm vor. Ferner erzählt er von dem von *Kaznakoff* und *Ladigin* geloteten Alyk-nor (4011 $m$ Meereshöhe) mit einem Umfang von 45 $km$ und einer Maximaltiefe von 30 $m$ und von dem bekannten Kuku-nor, in welchem zum erstenmal exakte Lotungen gemacht wurden. Seine größte Tiefe betrug 38 $m$, doch fanden im ganzen nur 20—25 Lotungen in tiefem Wasser, und zwar hauptsächlich zwischen der Insel und dem Südufer statt, was bei der Größe des Sees (ca. 3400 $km^2$) natürlich sehr wenig ist, so daß wir über sein Relief bis jetzt nur sehr mangelhaft unterrichtet sind. Die Größe des Sees entnahm ich der Karte des Sees von 1:1.000.000, welche der zweiten Arbeit *Kozloff*'s im G. J. beigegeben ist. *Kozloff* fand Spuren einer einstigen größeren Ausdehnung. Die Meereshöhe bestimmte er zu 3145 $m$.[2]) Er schildert den See als ständig bewegt und nur selten und auf kurze Zeit tritt Windstille ein. Das Wasser hat eine grünlich-blaue Färbung und ist stark salzhaltig; die weiten Steppen an seinem Ufer sind von zahlreichen Herden der Tanguten belebt, die das ganze Jahr hindurch sich dort aufhalten. *Kozloff* besuchte auch die einzige Insel des Sees, Koissu, die von einigen Einsiedlern bewohnt wird.

Der Kuku-nor = Blauer See scheint von *Obrutschew* zuerst entdeckt worden zu sein, der unterseeische Terrassen in 5—6 $m$ Tiefe fand, welche auf eine frühere geringere Ausdehnung und auf einen einstigen Abfluß schließen lassen.

*T. de la Touche*[3]) berichtet über 4 Seen im Punyab (Vorderindien), welche sich vor den meisten Seen in Trockengebieten dadurch auszeichnen, daß ihre erste Entstehung nicht etwa auf unregelmäßige Anhäufung von Oberflächenmaterial, sondern auf lokale Bewegungen der Erdkruste längs einer Falte zurückzuführen ist, so daß sie also wesentlich tektonischen Ursprungs sind. Die vier bedeutendsten Seen sind der Samundar (= Ozean) oder Son-Sakesar, der Kabaki Kahar, der Har Kahar und der Kalar Kahar. Der größte von ihnen ist der Samundar, der in normalen Jahren

[1]) Originalmitteilungen in den Mitt. d. Kaiserl. Russ. Geogr. Gesellsch. zu St. Petersburg, 1908, Nr. 7; 1909, Nr. 1—8; cf. idem: Through Eastern Tibet and Kam. G. J., Vol. 31, 1908 und G. J., Vol. 34, 1909, S. 385 f.

[2]) Die Höhenangaben des Sees schwanken außerordentlich. Graf *Szechenyi* fand 1879 3280 $m$; *W. W. Rockhill* 1889 3270 $m$; *M. Przwalski* 1884 3222 $m$; *G. N. Potanin* 1886 3174 $m$; *C. Wellby* 1896 3062 $m$ und *Hedin* 1897 2993 $m$, also Differenzen über 200 $m$.

[3]) Records of the Geological survey of India. Calcutta 1900, Vol. 100, part. I.

8 $km^2$ groß ist: je nach der Niederschlagsmenge schwankt ihr Areal sehr. Die größte Tiefe geht bei keinem über 3 $m$ hinaus, doch trocknet auch keiner während der wärmsten Jahreszeit gänzlich aus. Der Salzgehalt beträgt der Reihe nach 1·24, 0·86, 0·20 und 0·33%.

In Seistan befindet sich eine etwa 18.000 $km^2$ große Depression ohne Ausfluß, dessen tiefste Stelle der Hámun ausfüllt, ein See, welcher zu Zeiten bis zu 3000 $km^2$ bedecken kann. Alle paar Jahre entleert sich das Becken, nachdem es eine gewisse Höhe erreicht hat, durch den Chelogkanal und fließt in ein anderes tieferes Becken, genannt Gand-i-Zirreh. Nur während dieser Zeit ist das Wasser trinkbar. Die Verdunstung ist in dieser Gegend, entsprechend der Hitze und den Winden, so stark, daß sie von *T. J. R. Ward* auf 3 $m$ jährlich geschätzt wurde.

Den See von Schiras hat *A. T. Wilson*[1]) während einer Reise im Jahre 1907 besucht. Er wird meist durch Quellen an seinen Ufern gespeist, wahrscheinlich auch durch Quellen auf seinem Grunde, seine Zuflüsse werden meist zu Bewässerungszwecken vollständig in Anspruch genommen. Er scheint zu den periodischen Seen mit sehr langsamer Periode zu gehören. Der berühmte arabische Weltreisende *Ibn Batuta* erwähnt ihn nicht, früher scheint er tiefer gelegen zu sein und einen Abfluß besessen zu haben; jetzt halten sich zwar Verdunstung und Zufluß die Wage, doch sind alle Anzeichen dafür vorhanden, daß er wieder im Austrocknen begriffen ist. Sein Nordende ist schon jetzt vollständig versumpft.[2])

Über den Urmiasee, von den Persern Daria-i-Chahi, auf deutsch Kaisermeer, von den Armeniern Kapautau-Zow, das Blaue Meer genannt, ist eine Übersicht über die bisherigen Untersuchungen, verbunden mit eigenen Beobachtungen, von *Roland de Mecquenem*[3]), Attaché der französischen Gesandtschaft in Teheran, erschienen. Der in 1220 $m$ Meereshöhe gelegene See umfaßt, je nach der Jahreszeit, 4500—6000 $km^2$; seine mittlere Tiefe wird auf 5 $m$ geschätzt (bei welchem Wasserstand?), 15 $m$ scheint nirgends übertroffen zu werden. Die jährlichen Schwankungen des Wasserstandes betragen etwa 2 $m$; bei hohem Wasserstand dehnt er sich vornehmlich nach Süden und Osten, weniger nach Norden, gar nicht nach Westen aus, weil dort seine Ufer steil sind. Sein Salzgehalt ist so bedeutend, daß nur wenig Tiere in ihm leben können, erreicht jedoch den des Toten Meeres nicht; die Dichtigkeit des Wassers beträgt nach *Günther*[4]) bei 15° 1·138. Unter den suspendierten Salzen findet sich außer Chlornatrium, die Chlorüre und Sulfate von Magnesium, Kalium und Kalk. Seine Oberfläche ist nur selten ruhig, der Handel ruht fast vollständig, da im

[1]) *St. M. M. Máhom*, Recent survey and exploration in Seistan. G. J., 1906, Vol. 28.

[2]) Notes on a journey from Bandar-Abbas to Schiraz via Lar in February and March 1907. G. J., Vol. 31. London.

[3]) Annales de Géographie, T. 17. Paris 1908.

[4]) *R. T. Günther*, Contributions to the History of Lake Urmi and his neighbourhood (Journ. Linn. Soc. London 1899/1900, Vol. 27).

ganzen nur etwa 10 Boote am See gezählt werden. Das Einzugsgebiet umfaßt etwa 35.000 $km^2$; trotz der 5—600 $mm$ Niederschlag im Jahre ist die Luft dennoch sehr trocken, so daß von Ende Mai ab die Kulturen am Ufer ohne künstliche Bewässerung vertrocknen würden. Von den Zuflüssen ist auf der Nordseite der Adji-tchaï, auf der Südseite der Djoghatou-tchaï und der Tatawo die wichtigsten. Von den Inseln des Sees ist Koyoun-daghi, welche etwa 15 $km$ von der Ost- und 25 $km$ von der Westküste entfernt liegt, die wichtigste; sie ist etwa 15 $km^2$ groß und erhebt sich 360 $m$ über dem Spiegel des Sees. Der Urmiasee ist wahrscheinlich erst in postmiocäner Zeit entstanden und schrumpft nach der Ansicht von *Mecquenem* sichtlich mehr und mehr zusammen; dieser Prozeß wird noch beschleunigt durch die ausgedehnten Bewässerungsanlagen, welche dem See das meiste Wasser seiner Zuflüsse entziehen. Der Urmiasee hat also in bezug auf seinen Wasserhaushalt große Ähnlichkeit mit seinem größeren Bruder in Nordamerika, dem Großen Salzsee.

Über neuere Beobachtungen der Schwankungen des Wasserstandes dieses Sees und des Wansees, mit denen sich einst *Sieger*[1]) ausführlich beschäftigt hatte, ist mir nichts bekannt geworden, dagegen scheint nach einer Notiz im Globus (1910, Bd. 97) der Wasserstand des dritten Sees Hocharmeniens, des Goktschasees, im Steigen begriffen zu sein. Doktor *Schmidt* vom kaukasischen Museum in Tiflis berichtet daselbst, daß die Häuser von zwei am Ufer gelegenen Dörfern dauernd überschwemmt seien und verlassen werden mußten. Es scheint also, daß der See nicht, wie es in einer Notiz von *Markov*[2]) zu lesen steht, im Jahre 1906 seinen höchsten Wasserstand erreicht hat, sondern noch immer im Ansteigen begriffen ist. Auf Grund der Tiefenkarte in 1 : 102.000, welche *Markov* seiner Arbeit[3]) über diesen See beigefügt hat, habe ich seine mittlere Tiefe zu 38 $m$, sein Volumen zu rund 51½ $km^3$, seine mittlere Böschung zu 4·4° berechnet.

Über das Tote Meer hat *Mensburger*[4]) eine Monographie geliefert, die alles Wesentliche zusammenfaßt, was man an Nachrichten aus dem Altertum durch das Mittelalter der arabischen Quellen bis zur Neuzeit besitzt. An ein beständiges Sinken des Wasserspiegels glaubt der Verfasser nicht und in der Tat sprechen alle Anzeichen dagegen. *Geoy Hill*[5]) berichtet, daß der See in den Jahren 1874 - 1900 ganz erheblich gestiegen ist und daß die Insel Riyn el Behr verschwunden ist, allerdings spielen hier wohl vulkanische Erscheinungen eine Rolle. Seine Angaben sind durch spätere Messungen durchaus bestätigt worden: der Wasserstand war April

[1]) Die Schwankungen der Hocharmenischen Seen seit 1800. Wien 1888.

[2]) Neuvième Congres intern. de Géographie. Compte Rendu. Tome 2, S. 376. Genève 1909.

[3]) Geophysik des Goktschasees. Freiburger Inaugural-Diss. Freiburg im B., 1896.

[4]) Programm des k. k. Gymnasiums zu Brixen, 1907/09.

[5]) Quartaly Statement of the Palestine Exploration Fundus. Juli 1900; cf. G. J., Nov. 1900; Zeitschr. d. Gesellsch. f. Erdkunde zu Berlin, 1902, S. 644.

1901 370, 1902 153, 1905 930, 1906 867 *mm* über dem Normalstand.[1]) Dieses Anwachsen des Wasserstandes hält an; im ganzen ist der See von 1905 auf 1910 um 2 *m* gestiegen.[2]) Diese Tatsache kann nicht wundernehmen, ist doch die jährliche Regenmenge von 53 *cm* im Jahrzehnt 1861/71 auf 76 *cm* im Jahrzehnt 1891/1901 gestiegen und ist noch fortwährend im Steigen begriffen. Eine mehr touristische Beschreibung aus neuester Zeit auf einem Motorboot liefert *J. S. Stafford.*[3]) Nach *Max Blanckenhorns* Entstehung und Geschichte des Toten Meeres, Leipzig 1896, dem eine Tiefenkarte in 1:500.000 beigefügt war, habe ich seine mittlere Tiefe zu 146 *m*, sein Volumen zu 143 $km^3$ berechnet. Völlige Klarheit über seine topographischen und hydrographischen Verhältnisse darf man erst erhoffen, wenn die exakten Pegelmessungen mehrere Jahre hindurch fortgesetzt sind, und wohl auch von der von Dr. *G. Brühl* geleiteten Expedition, welche die Gesellschaft für Palästinaforschung ausgerüstet hat, um die noch unzureichenden Lotungen im See zu ergänzen, physikalische und biologische Untersuchungen anzustellen sowie die Fauna der Zuflüse des Sees zu studieren. Auch will man die Wassermengen bestimmen, welche durch die verschiedenen Zuflüsse in das Tote Meer gelangen. Die Expedition soll Ende Januar wieder in die Heimat zurückkehren und man darf auf ihre Resultate sehr gespannt sein, da seit dem Jahre 1864 ernste hydrographische und chemische Untersuchungen aus Mangel an geeigneten Fahrzeugen nicht vorgenommen sind.[4])

Den Salzsee von Larnaca auf Cypern hat der bekannte Tiergeograph der Münchener Universität Dr. *Otto Maaß* gelegentlich seiner Anwesenheit auf dieser Insel untersucht.[5]) Es war die Frage, ob das Salz dieses Sees, das durch seine Menge und Güte für die Insel von großer wirtschaftlicher Bedeutung ist, aus dem Meere stamme oder aus dem Boden und aus diesem erst durch die winterlichen Regengüsse ausgelaugt werde. Genaue Nivellierungen ergaben, daß das Niveau des Sees etwa 2·3 *m* unter dem des Meeres liegt, sein Boden 3·3—4·2 *m*. Die Bohrversuche, die in der Nähe des Seeufers angestellt wurden, zeigten nach der Tiefe zu fortschreitend eine Übereinstimmung in der Schichtung mit der Strandbarriere, welche den See vom Meere trennt. Von 3 *m* Tiefe an enthielt die bohrende Röhre mehr Wasser als Gesteinsproben, und das Wasser war gut erkennbar salzig. Der Salzgehalt des Sees kann also nicht von einem Steinsalzlager, sondern nur aus dem Meere rühren. Die durchlässige Schicht in der Strandbarriere wirkt wie eine Verbindungsröhre zwischen dem Meer

[1]) Quartaly Statement, July 1906.

[2]) Ibid. 1910. Auszug von G. J., 1911, Septemberheft.

[3]) Around the Dead Sea by motor boat. G. J., 1912, Januarheft.

[4]) Nach einer Mitteilung in P. M., 1911, Novemberheft. Inzwischen ist die Expedition zurückgekehrt, leider ohne große Erfolge, da das mitgebrachte Motorboot sich als untauglich erwies, es konnten daher hauptsächlich nur die Küstenregionen untersucht werden.

[5]) Geogr. Zeitschr., Bd. VII, Leipzig 1901; cf. *Bellamy*, A description of the Salt Lake of Larnaca. Quart. Journ. Geol. Soc., Bd. 56. London 1900.

und dem Seebecken, und zwar um so besser, weil sie etwa von 6 *m* ab durch eine undurchlässige Schicht abgeschlossen ist.

Den Sabandjasee in Kleinasien hat *Risch* [1]) geschildert. Er liegt in einer Grabensenke, die sich vom Golf von Ismid bis zum Sakariafluß hinzieht und die Bithynische Halbinsel vom übrigen Kleinasien abschneidet. Der See ist eine Wanne mit flachem Boden und steilen Wänden: da er 53 *m* tief ist und 33 *m* über dem Meere liegt, so stellt er eine Kryptodepression dar. Sein Flächeninhalt beträgt 50·5 $km^2$, steigt aber durch die Frühjahrshochwässer der ihm zuströmenden Wildbäche auf 59·5 $km^2$.

Im Sommer trocknen diese Bäche ganz aus, und der See erreicht den niedrigsten Wasserstand im August bis September. Ursprünglich war der See ein Teil des Golfes von Ismid, in welchen der Sakaria einmündete. Im jüngeren Tertiär wurde durch seitliche Zuschüttung der oberste Teil des Golfes vom Meer abgeschnürt, und es entstand ein See, dessen Spiegel anstieg, und dadurch wurde auch der Sakaria angestaut und floß nach dem Meer ab. Der jetzige Ausfluß, der Tschark-Su, ist durch einen Entwässerungsgraben wieder mit dem alten Ausfluß verbunden. Die ursprüngliche Verbindung mit dem Golf von Ismid, dessen innerster Teil mit Tiefen bis zu 183 *m* wieder einer Einschnürung bei Kaba-Burno entgegen sieht, ist jetzt vollständig unterbrochen. Die mittlere Tiefe des Sees beträgt 25 *m*, sein Volumen $1^1/_2$ $km^3$, seine mittlere Böschung ist nur 1·3°.

Den Seen im südwestlichen Kleinasien hat *Huntington* [2]) einen flüchtigen Besuch abgestattet. Er bezeichnet sie als Karstseen, die durch tektonische Veränderungen des Bodens entstanden sind. Der größte von ihnen ist der Bey Shehirsee, der etwa 50 *km* lang und 25 *km* breit wird; südwestlich von ihm liegt der Kara Viren, der kreisrund ist und einen Durchmesser von etwa 16 *km* besitzt. Er ist zur Zeit im Zunehmen begriffen, war aber vor einigen Generationen gänzlich ausgetrocknet. Der Koghadensee mit steilen Ufern hat einen periodisch fließenden Ausfluß. Die Seen führen auf *Stieler* Blatt 59 andere Namen.

Die Seen Japans sind der Gegenstand eifriger Forschungen japanischer Gelehrter, leider veröffentlichen sie ihre Untersuchungen lediglich in japanischer Sprache; ich bin daher nicht in der Lage, über die Resultate derselben hier zu referieren. Über den Hakonesee am Fuß des Fusiama ist im Globus 1907, Bd. 91 eine kurze Schilderung des Freiherrn *v. Reitzenstein* erschienen. Nach ihm erfüllt er den südwestlichen Teil eines erloschenen Kraters von etwa 10 *km* Durchmesser, ist in nordwest-südöstlicher Richtung 6·5 *km* lang und meist 1·2 *km* breit. Er liegt in der Nähe des Meeres, 750 *m* über dessen Niveau. Aus früherer Zeit ist in den Mitteil. Deutscher Ges. Naturf., Heft 47, Tokio 1892 eine Abhandlung über den Kawaguchisee erschienen, die mir nicht zu Gesicht gekommen ist.

Von den Seen auf den großen Inseln Asiens sind mir neuere Arbeiten nur über diejenigen der Insel Celebes bekannt geworden. Der Minen-

[1]) P. M., 1909, H. 1—4 mit einer Tiefenkarte des Sees in 1 : 500.000.
[2]) Bull. Amer. Society of Geogr., New York 1911, Bd. 43.

ingenieur *E. C. Abendanon* [1]) hat bei erfolglosen Versuchen, die südöstliche Halbinsel von Celebes zu durchqueren, mehrere Seen ausgelotet. Der tiefste von ihnen, der Matanosee, wird mindestens 590 *m* tief, scheint also nach dem Baikalsee der tiefste See Asiens zu sein, sein Boden reicht etwa 250 *m* unter Meereshöhe. Nach den topographischen Aufnahmen von *van Ginkel* (Maßstab 1 : 25.000) ist er ungefähr 300 *qkm* groß. Der inselreiche etwa 850 $km^2$ große Toevoetisee erreicht eine Tiefe von 203 *m*, der nördlich an ihn grenzende 20 $km^2$ große Mahalonasee von 73 *m*, während zwei bei der Gelegenheit neu entdeckte Seen (Wawontoa- und Masapisee) nur eine Tiefe von wenigen Metern aufweisen. Tiefenkarten der ausgeloteten Seen stehen nach einer brieflichen Mitteilung *Abendanons* an mich in Aussicht; ob sie wirklich das Relief der Seen auch nur einigermaßen genau wiedergeben werden, möchte ich angesichts der Tatsache, daß im ganzen nur 300 Lotungen gemacht wurden, ernstlich bezweifeln. Der Matanosee besitzt merkwürdigerweise keine auch nur nennenswerten Zuflüsse. Der am längsten bekannte See der Insel, der Possosee, ist auch von den Vettern *Sarasin* wiederholt besucht und auch ausgelotet worden [2]); es gelang ihnen aber mangels genügend langer Leinen nicht, seine größte Tiefe zu finden, die *Abendanon* [3]) im Jahre 1910 zu 440 *m* bestimmte. Leider enthält die von ihm seiner Arbeit beigegebene Karte des Sees in 1 : 500.000 keine Tiefenangaben. Im Gegensatz zum Matanosee ist er keine Kryptodepression [4]), denn sein Boden reicht immer noch ca. 60 *m* über Meeresniveau. Er liegt auf Sedimentärgesteinen innerhalb einer Mulde zwischen 2 Gebirgsketten, die auch die Seen Matana und Toevoeti einschließen. Von großem Interesse ist die reiche Molluskenfauna dieser drei Seen, welche sich in ihrer altertümlichen Art mit der berühmten Schneckenfauna der zentralafrikanischen Seen und des Baikalsees vergleichen läßt. Der Possosee dürfte sich vielleicht schon im Miocän, spätestens aber im Beginne des Pliocäns gebildet und seine Tierwelt erhalten haben. Die frühere Meinung, der Possosee sei ein Kratersee, hat bereits *Sarasin* a. a. O. widerlegt. Im Gegensatz zu den Zentralseen hat der Fondanosee, obschon er älter und nicht von Meerwasser ausgespült gewesen, ist nur weitverbreitete Arten und keinerlei eigentümliche Gattung. Die eigentümlichste Fauna hat der Possosee: die beiden Gattungen Miratesta und Pylamelania sind auf ihn beschränkt; aber auch in die beiden anderen Seen sind trotz ihres Zusammenhanges mit der Küstenebene und dem Meer nur ganz wenige weiter verbreitete Arten eingewandert. *Kobelt* macht übrigens darauf aufmerksam, daß die *Sarasin* nur die seichten Küstengebiete der Zentralseen untersuchen konnten, es ist nicht unmöglich, daß das Tiefwasser Relikten birgt.

[1]) Tid. Ned. Aardr. Genot, sér. 2. Amsterdam 1910; cf. P. M., 1911, I. S. 234 ff.

[2]) *Wichmann*, Der Possosee in Celebes. P. M., 1896. Heft 7; derselbe: Die Binnenseen auf Celebes. P. M., 1893, Heft 10—12.

[3]) Materialien zur Naturgeschichte von Celebes. Wiesbaden 1905, Bd. IV, S. 195.

[4]) Tid. Ned. Aardr. Genot, a. a. O., pag. 997 f.

Über die Entstehung des Tobasees auf der Insel Sumatra äußert sich *Volz*[1]) dahin, daß er durch mehrfache Einbrüche, denen eine eminente vulkanische Tätigkeit voranging, entstanden sei; später hätten wieder Einbrüche und vulkanische Ausbrüche miteinander abgewechselt, welche letztere u. a. die große Halbinsel Pulo Toba geschaffen hätten. Nach *Müller*[2]) beträgt seine Meereshöhe 906 *m*, seine Wasserfläche nach *Wing Easton* fast 630 $km^2$; rechnet man dazu aber noch die große Pulo-Toba, d. i. Insel Toba hinzu, welche eigentlich eine Halbinsel ist, wenn auch die verbindende Landbrücke nur außerordentlich schmal ist, so erhält man als Gesamtareal 2050 $km^2$. *Modigliani*[3]) lotete im südlichen Teil bis 450 *m*; doch fehlt es bisher noch gänzlich an systematischen Lotungen. Im Maiheft 1905 des G. J. findet sich eine kurze Notiz über den Tawarsee, der 40 $km^2$ groß und angeblich über 100 *m* tief werden soll; seine Meereshöhe wird auf 1200 *m* geschätzt. Der Notiz ist eine flüchtige Kartenskizze in 1 : 300.000 beigefügt.

## Namensverzeichnis der behandelten Seen.


| | Seite | | Seite | | Seite |
|---|---|---|---|---|---|
| Abai | 25 | Begelik-kol | 53 | Cochrane | 14 |
| Akku | 49 | Bennett | 13 | Colhuel | 16 |
| Alakul | 47 | Bey Shehir (= Kirili- | | Crater | 9 |
| Albert | 26 | gol) | 62 | Dain-gol | 39 |
| Alyk-nor | 58 | Bidan-tso | 57 | Dalai-nor | 39 |
| Amatitlon | 11 | Birket el Qurûn | 34 | Dangra-jum-tso | 55 |
| Anco cocha | 14 | Blanca | 17 | Djujlju-kol | 40 |
| Apo-tso | 56 | Bodschant | 50 | Dolmo-nor | 39 |
| Aral | 44 | Buenos Ayres | 14 | Dschŭlu-kol | 41 |
| Argentino | 15 | Bulum-kul | 51 | Edward | 26 |
| Artillerie | 3 | Bur-nor | 39 | Epocha | 34 |
| Aschangi | 33 | Busumchivi | 33 | Erie | 6 |
| Athabasca | 3 | Caballo cocha | 14 | Etape | 35 |
| Atitlan | 11 | Cardiel | 16 | Eyre | 17 |
| Atochik-kul | 56 | Cayuga | 7 | Fagnano | 14 |
| Bagrasch | 50 | Champlain | 7 | Faguibine | 33 |
| Baikal | 35 | Chelan | 9 | Feuersee auf Domi- | |
| Balchasch | 46 | Choga | 24 | nica | 11 |
| Bangweolo | 31 | Chonguan-shan | 39 | Feuersee auf Provi- | |
| Basso-Abor | 24 | Coatepeque | 11 | dence | 11 |


[1]) Zum Tobasee in Zentralsumatra. Tid. Ned. Aardr. Genot. sér. 2, Tom. XVI. Amsterdam 1899; derselbe: Beiträge zur geologischen Kenntnis von Nordsumatra in der Zeitschr. der Deutschen Geol. Gesellschaft, 1899, Bd. 51, pag. 39 ff., daselbst auch die frühere Literatur.

[2]) De hoogte van den waterspiegel van het Tobameer. Tid. Ned. Aardr. Genot. 1897, pag. 128.

[3]) Boll. Soc. Geogr. Ital., 1891, pag. 224.

| | Seite | | Seite | | Seite |
|---|---|---|---|---|---|
| Fondano | 63 | Kuku-nor | 58 | Ohau | 19 |
| Ganjule | 25 | Kuluda | 46 | Okeechobee | 9 |
| George | 18 | Kurgaldjin | 45 | Ontario | 6 |
| Goktscha | 60 | Kutschuk | 46 | Oring-nor | 57 |
| Grand lac auf Madagascar | 35 | Kwania | 24 | Parina cocha | 13 |
| Great lake | 18 | Kwama | 24 | Poopo | 12 |
| Green | 7 | Kysyl-kak | 44 | Porutse-tso | 54 |
| Großer Bärensee | 3 | Lafeyette | 10 | Posso | 63 |
| „ Salzsee | 8 | Lakkar-tso | 54 | Posson-nor | 59 |
| „ Sklavensee | 3 | Langak-tso | 54 | Pouggong-tso | 54 |
| Guatavia | 13 | Larnaca | 61 | Pukaki | 19 |
| Hakone | 63 | Lauri cocha | 14 | Puyehue | 14 |
| Hämun | 59 | Lebarge | 3 | Puyrredon | 16 |
| Horpa-tso | 56 | Lighten | 53 | Remntier | 3 |
| Huron | 6 | Llanquihue | 15 | Rickard | 34 |
| Jamonia | 10 | Lob-nor | 51 | Rotamahana | 19 |
| Jaring-nor | 57 | Luma-ring-tso | 54 | Rotoiti | 19 |
| Jaschil-kul | 50 | Mahalona | 63 | Rudolf | 24 |
| Jeschil-kel | 53 | Managua | 11 | Rukwa | 29 |
| Jessey | 38 | Manapouri | 18 | Sabandja | 62 |
| Ilar-kahar | 58 | Manasarovar | 54 | Sagis-kul | 56 |
| Ilopango | 11 | Manjara | 25 | Saisan-nor | 49 |
| Issyk-kul | 48 | Manitoba | 4 | Salisburg | 24 |
| Kabaki-kahar | 58 | Markham | 56 | Salton | 10 |
| Kalar-kahar | 58 | Masapi | 63 | Samundar | 58 |
| Kamaka Wallar | 19 | Matano | 63 | San Martin | 15 |
| Karakol | 49 | Mendota | 7 | St. Anna Lagune | 14 |
| Karakul | 49 | Merewether | 18 | Sassyk-kul | 47 |
| Karaumelik-kol | 53 | Meru | 32 | Schiras | 59 |
| Kara Viren (Soghlagol) | 62 | Michigan | 6 | Schirwa | 30 |
| Kawaguchi | 62 | Michi kaman | 4 | Selety-Dengiz | 45 |
| Kendykty-kol | 41 | Mistassini | 4 | Selling-tso | 54 |
| Kioga | 24 | Misternipi | 4 | Seneca | 7 |
| Kiwu | 26 | Musters | 16 | Sentan | 19 |
| Kleiner Sklavensee | 3 | Nakkong-tso | 54 | Sorel | 18 |
| Koghaden (= Gokhadagol) | 62 | Natron | 25 | Stawea | 18 |
| Kondoc-kol | 41 | Ndorwa | 26 | Stephanie | 24 |
| Kossogol | 38 | Ndú | 34 | Suai | 25 |
| Kotschkowátoe | 46 | Ngangsa-tso | 53 | Superior | 7 |
| Kratersee auf Fernando Po | 35 | Nicaragua | 10 | Tahoe | 8 |
| | | Nipigon | 4 | Tana | 32 |
| | | Nura-nor | 49 | Tanganjika | 29 |
| | | Nyassa | 29 | Taupo | 18 |
| | | Obosomtve | 33 | Tawar | 54 |

| | Seite | | Seite | | Seite |
|---|---|---|---|---|---|
| Tekapo | 19 | Tschatyr-kul | 49 | Victoria | 23 |
| Teke | 15 | Tscheïbak-kul | 41 | Viedma | 15 |
| Telezkoje | 40 | Tsodyára-nor | 59 | Waikare | 19 |
| Tenis | 15 | Tsollaring-tso | 54 | Waikare-Maona | 18 |
| Tippe | 7 | Tso-ngombo | 54 | Wakatipu | 19 |
| Titicaca | 12 | Turkey | 7 | Wälder | 4 |
| Toba | 64 | Tus-kul | 51 | Wawontoa | 19 |
| Toevoeti | 40 | Twinn | 8 | Whangape | 19 |
| Tooschin-kul | 41 | Ubinski | 46 | Winnipeg | 4 |
| Totes Meer | 60 | Ulan-nor | 39 | Winnipegosis | 4 |
| Tsad | 18 | Ullugh-kol | 53 | Wojewoli | 58 |
| Tsagan-nor | 39 | Urmia | 59 | Wollaston | 3 |
| Tschany | 45 | Valencia | 13 | Yelcho | 14 |

# Eine neue Methode auf dem Gebiete der Geomorphologie.

Von **Alfred Rühl**, Berlin.

Die Geographie ist eine sehr alte und doch gleichzeitig eine sehr junge Wissenschaft. Diese Paradoxie erklärt sich, wenn man daran denkt, daß ihre Anfänge mit den ersten schüchternen Versuchen wissenschaftlicher Betätigung überhaupt verknüpft sind, daß aber andrerseits die wissenschaftliche Geographie in dem Sinne, wie wir sie heute verstehen, erst ein Kind der zweiten Hälfte des neunzehnten Jahrhunderts ist. Es dürfte aber wohl kaum noch irgend eine andere Wissenschaft zu finden sein, deren Stellung im System der Wissenschaften noch so umstritten, deren Beziehungen zu anderen Wissenszweigen noch so unsicher sind, wie es bei der Erdkunde der Fall ist. Nicht einmal über ihren Inhalt, über Zweck und Ziele herrscht Einigkeit, und man kann fast, ohne sich der Übertreibung schuldig zu machen, behaupten, daß zehn verschiedene Geographen auch zehn verschiedene Ansichten über ihr Wesen und ihre Methoden haben werden. In keiner Literatur spielen methodische Erörterungen eine solche Rolle wie in der Geographie, wenn sich auch heute glücklicherweise die Anschauungen nicht mehr so schroff gegenüberstehen, wie noch etwa vor zwanzig Jahren. Namentlich sind es die Beziehungen zu anderen Wissenschaften, die zum Gegenstand lebhafter Diskussionen gemacht werden. Wie keine Wissenschaft völlig isoliert zu bestehen vermag, so hat auch die Erdkunde die Arbeit anderer zum Leben nötig, die Zahl ihrer Hilfswissenschaften ist sogar ganz besonders groß, und daraus erklärt sich die immer noch gelegentlich auftretende Meinung, sie sei überhaupt keine selbständige Wissenschaft, sondern nur ein Platz, auf dem sich viele andere Wissenschaften ein gelegentliches Rendez-vous geben. So hat noch auf der letzten Versammlung der britischen naturforschenden Gesellschaft im Jahre 1911 der Vorsitzende der geographischen Sektion, *Close* [1]), diese mit einer Ansprache eröffnet, in der er den Nachweis zu erbringen suchte, daß eine eigene Wissenschaft der Erdkunde gar nicht existiere, daß alles,

[1]) *Close*, The purpose and position of geography. Scottish Geogr. Mag., XXVII, 1911, pag. 505.

was auf diesem Gebiet gearbeitet würde, sich bei anderen Wissenschaften unterbringen lasse, daß die Erdkunde nur deren Resultate in eine populäre Form brächte.

Ein besonderes Schmerzenskind bildet in dieser Hinsicht ein Teil der Geographie, der sich erst in den letzten Jahrzehnten von ihrem Baume als selbständiger Ast abgezweigt hat, nämlich die Morphologie. Wie in den biologischen Wissenschaften handelt es sich bei ihr um die Lehre von den Formen, also in diesem Falle von den Formen der Erdoberfläche, weswegen man sie auch zur Unterscheidung mit einem aus Amerika stammenden Namen als Geomorphologie bezeichnet. Ein guter deutscher Ausdruck ist bisher noch nicht gefunden. Man hat „Landschaftskunde" vorgeschlagen, aber bei dem Worte „Landschaft" denkt man doch wohl stets an das gesamte landschaftliche Bild, bei dem zwar die Formen das zunächst in die Augen Fallende und das Wesentlichste sind, dessen Charakter aber doch durch das Pflanzenkleid und die Werke des Menschen in sehr hohem Grade beeinflußt wird.

Die Geomorphologie bildet einen sehr wichtigen Teil der Erdkunde, denn die Formen der Erdoberfläche stellen die bedingende Grundlage für alle übrigen Erscheinungen dar, mit denen es die Geographie zu tun hat: „die Aufdeckung der Wechselbeziehungen der Gegenstände und Erscheinungen mit Rücksicht auf die Erdoberfläche" ist ja nach *v. Richthofens* Definition ihre Aufgabe. Von der Bodenplastik hängt die Verteilung des Gewässernetzes ab, sie beeinflußt das Klima, die Temperaturverhältnisse und vor allem die Niederschläge; man braucht nur an Australien zu denken, wo das im Osten vorgelagerte Gebirge die Feuchtigkeit abfängt und nicht ins Innere gelangen läßt, so daß, je weiter man sich nach Westen begibt, die Regensummen immer geringer werden und schließlich sogar völlige Wüste auftritt. Damit steht nun wieder die Vegetationsbedeckung im engsten Zusammenhang und schließlich auch die anthropogeographischen Verhältnisse; richtet sich doch die Lage der menschlichen Ansiedlungen in hohem Maße nach der Anordnung der Hochformen und Hohlformen, wirken doch die Gebirge als Völkerscheiden und scharfe politische Grenzen usw. Aus diesen eben angedeuteten Gründen muß in einer länderkundlichen Darstellung immer eine Vorführung der morphologischen Verhältnisse allem anderen vorangehen. Das gegenseitige Verhältnis der einzelnen Faktoren ist allerdings kein einfaches, sondern es findet stets auch eine Rückwirkung statt: die Oberflächenformen werden wiederum durch das Klima beeinflußt, ein Gebirge in einer wasserlosen Wüste bietet einen ganz anderen Aspekt dar als ein in unseren dauernd feuchten Regionen gelegenes; die Formen ändern sich, wenn der Mensch den Wald vernichtet und damit das Land dem Angriff der von außen wirkenden Kräfte schutzlos preisgibt.

Lange Zeit hindurch hat man sich nun damit begnügt, die Erdoberfläche nur in rein deskriptivem Sinne zu behandeln; jede Karte, die das Terrain wiedergibt, ist ja schon eine Art morphologischer Darstellung.

Ein wirkliches Verständnis ist aber nur auf genetischer Basis möglich. Andernfalls wäre man einem Zoologen vergleichbar, der eine Blindschleiche auf Grund ihres äußeren Habitus zu den Schlangen rechnen wollte. Erst seitdem man sich daran gewöhnt hat, die Oberflächenformen gerade wie die Lebewesen nicht als feste Gestalten, sondern als etwas Gewordenes, in ständiger Umwandlung Begriffenes, ja, streng genommen, nur für den Augenblick Existierendes zu betrachten, kann man von einer Geomorphologie sprechen; erst auf diese Weise ist sie zu einer Wissenschaft geworden, verdient sie den Namen einer Geomorphogenie.

Ihre Aufgabe sieht sie also darin, die heutigen Formen der Erdoberfläche zu beschreiben und zu erklären, sie hat es also mit der Erdkruste, d. h. demselben Forschungsobjekte zu tun wie die Geologie. Daraus erklärt es sich, daß schon im Beginne ihrer Entwicklung Streit darüber entstand, ob es sich überhaupt bei ihr um einen Zweig der Geographie handelte, und Erörterungen über ihre Beziehungen zu der weit älteren Geologie stehen auch heute noch ständig auf der Tagesordnung. Der Schwerpunkt der Geographie ist glücklicherweise seit einiger Zeit immer mehr und mit Recht in die Länderkunde verlegt worden; diese ist ihr eigentliches Arbeitsfeld, vielleicht aber auch das einzige, das ihr von keiner anderen Wissenschaft streitig gemacht wird. Zum Verständnis der Landesnatur ist jedoch eine Kenntnis aller die Erdoberfläche umgestaltenden und beeinflussenden Kräfte notwendig, und sie wird durch die sogenannte „allgemeine Erdkunde“ vermittelt, die also im Prinzip nur die Stellung einer Art Propädeutik in dem Rahmen der Geographie einnimmt, wenn man der Länderkunde den ersten Platz einräumt.

Wie sehr die Ansichten über das Verhältnis von Geomorphologie und Geologie auseinander gehen, konnte man deutlich sehen, als auf der Versammlung der britischen naturforschenden Gesellschaft zu Nottingham im Jahre 1893 eine Besprechung gerade dieser Frage auf die Tagesordnung gesetzt war, wobei sich eine ganze Reihe bedeutender englischer Geographen und Geologen über diesen Punkt aussprach. Nur darüber war man sich ziemlich einig, daß eine feste Grenze zwischen beiden sich nicht ziehen lasse, ebensowenig wie zwischen dem Wasser des Meeres und einem in dieses einmündenden Flusse, indem weite Flächen beiden gemeinsam sind; aus allen Reden ließ sich allerdings auch als Unterton der Wunsch herausfühlen, daß beide stets gemeinsam marschieren möchten, oder wie es *Lapworth* ausdrückte, daß ein Ehering sie heute und für immer zu einer unzertrennlichen Verbindung vereinigen möge.

Und doch läßt sich wohl, wenigstens prinzipiell, eine ziemlich scharfe Scheidewand errichten, wenn sie auch in der Praxis häufig durchbrochen werden mag und unter Umständen durchbrochen werden muß. Der Geograph und der Geologe arbeiten wohl an demselben Objekt, aber sowohl ihre Methoden wie ihre Ziele sind verschieden. Geologie ist Erdgeschichte, der Geologe also ein Historiker. Er will die erdgeschichtliche Entwicklung einer Landschaft kennen lernen, womöglich von ihrer ersten Entstehung

an: er sucht festzustellen, aus welchen Schichten sie aufgebaut ist, und welche Schicksale diese Schichten in späterer Zeit durchlebt haben. Um zu einer Vorstellung darüber zu gelangen, welcher Art diese Umgestaltungen sind, und in welcher Weise sie vor sich gehen, bleibt ihm kein anderes Mittel, als das Studium des Spieles der Kräfte, wie es sich heute noch unter unseren Augen vollzieht. Es ist zwar recht unwahrscheinlich, daß die Intensität dieser Kräfte und ihr gegenseitiges Intensitätsverhältnis im Laufe der geologischen Perioden keine Änderung erlitten haben, aber hierüber kann er, zumal die für die Beobachtung zur Verfügung stehende Zeit nur einen minimalen Bruchteil einer geologischen Epoche ausmacht, nur ganz vage Vermutungen äußern; den hierüber ausgebreiteten Schleier gänzlich zu heben, wird ihm niemals gelingen. Sein Ziel bleibt aber immer, wie gesagt, ein historisches, die gegenwärtige Gestalt einer Landschaft interessiert den Geologen im Prinzip nicht.

Auf dieses Problem ist nun die Aufmerksamkeit des Geographen gerichtet. Während der Geologe die alten Oberflächen eines Landes studiert, da ja jede Schicht einmal die Oberfläche gebildet hat, untersucht der Geomorphologe nur dessen heutige Formen. Wenn er nun hierbei sich nicht mit einer rein äußerlichen Beschreibung begnügen will, sondern ein wirkliches, tiefergehendes Verständnis gewinnen will, so muß er die Genese der Formen kennen. Er muß also zunächst sich mit der Erforschung geologischer Tatsachen abgeben, aber alle vergangenen Ereignisse interessieren ihn nur so weit, als sie sich in der jetzigen Oberflächengestaltung noch ausprägen. In unserem höchsten europäischen Gebirge, den Alpen, sind die verschiedenen Schichtsysteme in der großartigsten Weise zusammengestaucht und miteinander verknetet; die Oberfläche des rheinischen Schiefergebirges ist fast völlig eben, zeigt jedoch eine innere Struktur, deren Verwickeltheit der der Alpen kaum etwas nachgibt. Der Geologe liebt mit gleicher Liebe seine Kinder. In beiden Fällen sucht er mit dem gleichen Interesse den komplizierten Schichtbau zu enträtseln, festzustellen, in welche seiner Perioden die Deformationen fallen. Nicht so der Morphologe: ihn interessiert die Faltung nur so weit, wie sie sich in der heutigen Oberflächengestaltung ausprägt, und wenn, wie im Schiefergebirge, die Oberfläche häufig ganz eben über die Falten hinwegstreicht, so ist ihm der Faltenbau im einzelnen gleichgültig.

Für den Geologen ist es ungemein wichtig zu wissen, ob ein Gebirge nur einmal im Laufe der Erdgeschichte oder vielleicht mehrfach einer Zusammenfaltung unterworfen wurde. So wissen wir z. B., daß gewisse Teile der Pyrenäen bereits in paläozoischer Zeit gefaltet wurden, und zwar längs einer Achse, die senkrecht auf der der tertiären Hauptfaltung steht. Geographisch werden derartige Verhältnisse im allgemeinen belanglos sein, vor allem die geologisch so bedeutsame Frage nach dem Altersverhältnis der verschiedenen Faltungsprozesse. Hier handelt es sich nur darum, ob diese Falten einen Einfluß auf die gegenwärtige Oberflächengestaltung ausüben, und wenn es der Fall ist, welches dieser Einfluß ist. Ebenso bildet

das Vorhandensein von Verwerfungen, an denen die Schollen der Erdkruste eine Verrückung in vertikaler oder horizontaler Richtung erfahren haben, immer einen sehr wesentlichen Gegenstand für die geologische Untersuchung eines Landes. Hessen z. B. ist von derartigen Bruchlinien förmlich durchschwärmt, und jede einzige darf das Interesse des Geologen in Anspruch nehmen. Aber nur wenige spielen eine geographische Rolle. Man sieht meistens, wie die heutige Oberfläche gar keine Rücksicht auf die Brüche nimmt, sondern gleichmäßig über gehobene und versunkene Schollen hinwegzieht: die Abtragung hat das durch die tektonischen Bewegungen geschaffene Relief eben bereits völlig wieder verwischt. Die Brüche können sich allerdings unter Umständen auch heute noch an der Oberfläche markieren, wenn etwa Gesteine von sehr ungleicher Beschaffenheit durch sie in Kontakt gebracht sind — auf diese Weise können sie gelegentlich sogar einen, wenn auch untergeordneten anthropogeographischen Einfluß gewinnen, indem diese Verschiedenheit der Gesteine auch eine Verschiedenheit des Bodens und damit der Fruchtbarkeit hervorruft.

Der Geograph als Morphologe braucht also die Geologie, sie ist neben der Geodäsie, die die Formen mißt, seine wichtigste Hilfswissenschaft. Aber was dem Geologen Endzweck, ist für ihn der Ausgangspunkt seiner Betrachtungen, nur Mittel zum Zweck: auf den geologischen Tatsachen baut er seine morphologischen Schlüsse auf. Deswegen, weil in geographischen Arbeiten so viel rein geologisches Tatsachenmaterial Erwähnung findet, sind diese noch lange nicht geologisch. Sie sind es dann, wenn z. B. die in einer Gegend auftretenden geologischen Formationen aufgezählt oder die Geschichte einer Landschaft durch die geologischen Perioden hindurch verfolgt wird, so daß also das geographische Moment zu wenig in den Vordergrund gestellt wird oder gar ganz verschwindet, wie dies leider noch allzu häufig der Fall ist.

Der Geomorphologe übernimmt also die ihm von der Geologie gelieferten Tatsachen in gleicher Weise, wie es der Klimatologe mit den Ergebnissen der meteorologischen Wissenschaft tut. Er ist daher in hohem Grade an ihren Fortschritten interessiert und von ihrem jeweils erreichten Stande abhängig. Sind die geologischen Grundlagen für irgend eine Frage noch nicht vorhanden, so ist er unter Umständen gezwungen, sie sich selbst zu schaffen, er muß sich dann nur bewußt sein, daß er dann eben eine Zeitlang als Geologe tätig ist. Derartiges kommt in allen Wissenschaften vor. *Helmholtz* benötigte zur Lösung gewisser Probleme der Mechanik mathematischer Unterlagen, die er nicht vorfand. Er arbeitete sie sich darum selbst aus und seinem eminenten mathematischen Geiste gelang es so, die Mathematik in nicht unwesentlicher Weise zu bereichern: dadurch haben jedoch seine Untersuchungen ihren physikalischen Charakter keineswegs einbüßen können. So muß auch z. B. der Forschungsreisende, der in unbekannte, vielleicht noch nie von eines Menschen Fuß betretene Gegenden gelangt, auch geodätisch, petrographisch, botanisch, zoologisch und anthropologisch arbeiten, und diejenige Forschungsreise wird in einem

solchen Falle, d. h. bei der ersten Pionierarbeit die ergebnisreichste sein, die ein möglichst reichhaltiges und verschiedenartiges Material heimbringt: die Bearbeitung der dem Geographen ferner liegenden Wissenszweige wird ja dann nachher meist den betreffenden Fachgelehrten überlassen.

Dieses hier in aller Kürze skizzierte Verhältnis von Morphologie und Geologie, das also zwar ein sehr enges ist, bei dem aber doch jeder Wissenschaft ihr Recht wiederfährt, ist nun ziemlich weit davon entfernt, sich allgemeiner Anerkennung zu erfreuen, und besonders sind die Geologen vielfach zu Kompetenzstreitigkeiten geneigt. Es mag dies zum Teil seinen Grund darin haben, daß auf einem Gebiet Geologen und Morphologen gleichzeitig arbeiten, unter den heutigen Verhältnissen arbeiten müssen, das ist die Lehre von den an der Erdoberfläche tätigen, die Erdoberfläche gestaltenden Kräften. „The present is the key of the past", nach diesem Satze des großen *Charles Lyell* muß sich der Geologe an die gegenwärtig zu beobachtenden Vorgänge halten, wenn er vergangene Ereignisse begreifen will und als echter Historiker geht er dann rückwärts; der Geograph, der das heute vor ihm liegende Bild der Landschaft zu beschreiben sucht, muß sich in deren Vergangenheit vertiefen, will er nicht am äußerlichsten haften bleiben. Für beide ist also das Studium der geologischen Gegenwart unerläßlich, hier begegnen sie sich, oder, wie es der englische Geograph *Mackinder* einmal formuliert hat: die Geologie ist die Untersuchung der Vergangenheit durch die Beobachtung der Gegenwart, die Geographie die Untersuchung der Gegenwart durch das Studium der Vergangenheit.

Man kann nun aber bei einer Betrachtung der Formen auch von diesen Formen selbst den Ausgangspunkt nehmen, sie einer Analyse unterziehen und aus ihnen ihre Entstehung ablesen; das ist die eigentliche geographische Methode, und sie hat auch bereits in vielen Fällen zu sehr schönen Resultaten geführt. Aber stillschweigend wird doch stets bei dieser Art des Vorgehens eine gewisse Bekanntschaft mit der Wirksamkeit der verschiedenen Kräfte vorausgesetzt, weshalb ja auch unsere meisten Lehr- und Handbücher der Behandlung der Oberflächenformen eine Darstellung der Kräfte vorangehen lassen. Mit diesen Kräften sind wir heutzutage bereits ziemlich gut vertraut, und wo man dies zu sein glaubt, darf man sofort an die Formenanalyse herangehen. Jedoch nicht immer liegen die Dinge so. Man hat zwar gewußt, daß die Verwitterung, im weitesten Sinne genommen, überall tätig ist und vor allem an den Gehängen nagt, wie aber die allmähliche und unmerkliche Abtragung unter dem Einfluß dieser Vorgänge vonstatten geht, war doch noch unklar. Den Beobachtungen eines jungen Wiener Geographen, *Gustav Götzinger*[1]), verdanken wir es, daß wir nunmehr auch hierin klarer sehen, wenn auch noch nicht alle Schwierig-

[1]) *Gustav Götzinger*, Beiträge zur Entstehung der Bergrückenformen. Geogr. Abh., IX, 1907. Die Ergebnisse einiger neuerer Arbeiten auf diesem Gebiet faßt kurz zusammen ein Aufsatz von *Stamm*, Schuttbewegungen. Geol. Rundschau, II, 1911, S. 162; siehe auch: *Gilbert*, The convexity of hill tops. Journ. of Geol., XVII, 1909, pag. 344.

keiten entfernt sind. Unter dem Einfluß des dauernden Temperaturwechsels, des Tauens und Wiedergefrierens, vor allem der Durchfeuchtung und des Wiederaustrocknens werden in unseren Klimaten ständige Volumveränderungen der Bodendecke erzeugt, und die Schwerkraft bewirkt dann, daß die einzelnen Teilchen nicht wieder in ihre alte Lage zurücksinken, sondern ein ganz klein wenig weiter abwärts geraten. Als äußerlich sichtbares Zeichen dieser Bewegung sieht man an vielen Hängen, wie die Schichten dort, wo sie an die Oberfläche treten, etwas nach unten gebogen sind; dieses sogenannte Hakenwerfen war natürlich schon seit langem bekannt und z. B. von *Kerr* schon 1881 auf die Wirkung des Gefrierens und Wiederauftauens zurückgeführt.[1]) Auch Faltungen der oberflächlichen Schichten können so zustande kommen, wie *Campbell* an einem Falle aus Arkansas gezeigt hat.[2]) Daß tatsächlich der Boden größere Strecken zu wandern vermag, ergibt sich daraus, daß man manchmal Schutt an den Hängen findet, dessen Ursprungsgestein gar nicht an Ort und Stelle vorkommt, sondern nur weiter oberhalb auftritt. In den Polargebieten, aus denen gerade aus der letzten Zeit zahlreiche Beobachtungen in dieser Beziehung vorliegen, gestalten sich die Dinge unter den anders gearteten klimatischen Zuständen ziemlich stark abweichend, aber auch hier ist eine solche Bewegung des Schuttes von großer Bedeutung. *Götzinger* hat nun versucht, die Entstehung sanft gerundeter Formen aus scharfen Firsten und Graten auf derartige Bodenverlagerungen zurückzuführen, ist aber vielleicht doch geneigt, ihre Wirksamkeit etwas zu überschätzen; leider sind wir in quantitativer Hinsicht über den Wert dieser Vorgänge eben doch noch erst sehr unvollkommen orientiert. Immerhin sind wir nunmehr schon beinahe in der Lage, wenn wir Oberflächenformen untersuchen, mit diesem sogenannten Schuttkriechen operieren zu können, ohne den Vorgang selbst jedesmal von neuem feststellen zu müssen. Es liegen hier die Verhältnisse genau so, wie bei der morphologischen Untersuchung einer Landschaft: so lange die geologischen Unterlagen dem Geographen nicht vorliegen, muß er sie sich selbst schaffen, wenn er nicht auf die Untersuchung verzichten will; da kompliziertere tektonische Verhältnisse meist nur auf stratigraphischem Wege enträtselt werden können, muß sich der Geograph unter Umständen sogar mit der Altersbestimmung von Fossilien beschäftigen. Und so lange die Geologie die morphologisch wirksamen Kräfte nicht vollständig in ihrer Tätigkeit durchschaut hat, muß sie es sich gefallen lassen, daß die Morphologie sich ebenfalls mit deren Studium abgibt.

Die eben angedeutete gemeinsame Arbeit beider Wissenschaften auf diesem Gebiet erklärt wenigstens zum Teil den Gegensatz, der auch heute noch zwischen ihnen herrscht, indem der Geologe vielfach der Meinung

[1]) *Kerr*, On the action of frost in the arrangement of superficial earthy material. Amer. Journ. of Sc. (3), XXI, 1881, pag. 345.

[2]) *Campbell*, Rock folds due to weathering. Journ. of Geol., XIV, 1906, pag. 718.

ist, die Morphologie suche ihn von einem Teile seines Arbeitsfeldes zu verdrängen. Es ist dies durchaus ein Mißverständnis: gerade der Morphologe ist dem Geologen ungemein dankbar für seine im allgemeinen viel subtilere Arbeit, wird sich stets freuen, wenn dieser sie ihm abgenommen hat. Man muß aber wohl noch ein anderes Moment zur Erklärung der ein wenig gespannten gegenseitigen Beziehungen in Betracht ziehen, nämlich ein historisches. Die eigentliche wissenschaftliche Morphologie ist sehr jung, kaum einige Jahrzehnte alt, und sie hat sich naturgemäß in engstem Anschluß an die Geologie entwickelt, so daß sie ihr jetzt nach ihrer Trennung als eine Art Parvenu erscheint. Die Geologen hatten sich zwar schon im Beginne des 19. Jahrhunderts Betrachtungen über die Oberflächenformen zugewandt, widmeten ihnen in ihren Handbüchern meist sogar eigene Abschnitte, aber von einer genetischen Basis hatten sie nicht einen Hauch verspürt, obwohl schon 1798 *Nicolas Desmarest* im ersten Bande seines „Dictionnaire de Géographie physique", das einen Teil der von *Panckoucke* und *Agasse* herausgegebenen „Encyclopédie méthodique" ausmachte, deren Aufgaben so klar und scharf formuliert hatte, daß wir seine Definition auch heute noch gelten lassen können: „La géographie physique", sagt er in der Einleitung, „embrasse deux objets également importans et fortement liés ensemble, la structure intérieur du globe et la forme extérieur . . . . tous objets qui tiennent aux causes physiques qui ont concouru en différens temps à la constitution actuelle de la terre", nur daß wir jetzt statt „Physischer Geographie" „Geomorphologie" sagen würden. Wie heute, so war auch damals die Formenlehre abhängig von den gerade herrschenden geologischen Theorien: war man ein Neptunist, so ließ man die Täler durch gewaltige Sintfluten entstehen, hing man der plutonistischen Auffassung an, so schob man die Auftürmung der Gebirge katastrophalen vulkanischen Ausbrüchen zu und damit wurde die Skulptur der Landoberfläche mit durch jene erzeugten Hebungsspalten in Verbindung gebracht. Männer, wie *Hutton*, *Playfair*, *Saussure* oder *Desmarest*, die für einen erosiven Ursprung der Täler eingetreten waren, waren vergessen.

Die neuere Entwicklung hat dann von Amerika aus ihren Ausgang genommen, denn hier lagen die Verhältnisse für ein eindringendes Studium der Oberflächenformen besonders günstig. Die Scheidung zwischen Geologie und Geographie, wie sie in Europa herrschte, existierte dort nicht, die topographische und geologische Landesaufnahme waren in einer Hand vereinigt, da es sich ja darum handelte, weite, noch gänzlich unbekannte Räume zu erschließen und auf ihre wirtschaftliche Mitgift zu untersuchen, wozu natürlich die kartographische Aufnahme eine erste Grundlage geben mußte. Dazu kommt, daß der geologische Bau der Vereinigten Staaten in vielen Teilen ungemein einfach, daß die Struktur wegen des Fehlens einer ausgedehnten Vegetationsdecke im fernen Westen häufig schon von ferne wie von einem kolorierten Profil ablesbar ist, so daß denn auch gerade unsere Anschauungen über die Entstehung der Gebirge von hier aus sehr stark beeinflußt werden mußten. Aber auch das

Vergehen der Gebirge stellt sich hier in ganz anderem, großartigerem Maße dem Auge des Menschen dar, Formen, wie sie die Bad lands in Dakota oder gar der grandiose Cañon des Colorado zeigen, findet man auf der Erde nicht ein zweites Mal wieder. So kann es denn nicht wundernehmen, daß gerade auf diesem Boden die Bedeutung des fließenden Wassers für die Skulptur der Erdoberfläche als des hauptsächlichsten Faktors und überhaupt der Zusammenhang von innerer Struktur und äußerer Form hier verhältnismäßig früh erkannt wurde, und daß wichtige Begriffe, mit denen man jenseits des Atlantischen Ozeans erst seit relativ kurzem operiert, wie Erosionsbasis, konsequente und antezedente Täler u. a., dort schon in den 60er Jahren des vergangenen Jahrhunderts aufgestellt werden konnten. Die Natur mußte geradezu dazu reizen, diesen Zusammenhängen nachzuspüren. In Großbritannien drangen die neuen Ideen ziemlich rasch durch, in die geographische Literatur des Kontinents haben sie jedoch erst sehr viel später Eingang gefunden. Einem Manne wie *Alexander v. Humboldt* hat die morphologische Wissenschaft selbstverständlich viel zu danken, aber seine Betrachtungen auf diesem Gebiet waren doch fast ausschließlich deskriptiver Natur. Der Ruhm, den Anstoß zu der Entwicklung dessen, was man gegenwärtig unter Geomorphologie versteht, gegeben zu haben, kommt aber doch einem deutschen Geographen zu: *Oskar Peschel*, der in seinen „Neuen Problemen der vergleichenden Erdkunde" schon 1869 die Aufgaben und gewisse Methoden dieses Wissenszweiges klar erkennen ließ und an einzelnen Beispielen seine Auffassung auseinandersetzte. Gegenüberstellung und Vergleich der Formen, Aufstellung bestimmter Typen und Feststellung ihrer Verbreitung, Aufsuchen des Zusammenhanges mit anderen, z. B. geologischen oder klimatischen Erscheinungen, das ist es, was der Morphologie als Ziel vorschweben sollte. Allerdings waren diese auch stilistisch glänzenden Essays ausschließlich auf wenn auch noch so umfassenden Literaturstudien aufgebaut, nichts gründete sich auf eigene Beobachtung, aber damit war der Anstoß gegeben, und die zahlreichen Einzeluntersuchungen, die sich an dieses Buch in der folgenden Zeit anknüpften, verließen immer mehr den Boden der Spekulation und suchten in ständig zunehmendem Maße sich auf den festen Grund der Beobachtung zu stellen. Die Fülle des Beobachtungsstoffes, die sich auf diese Weise angesammelt hatte, fand dann auch bald einen Mann, der den kühnen Versuch unternahm, ihn zusammenzufassen und in ein System zu bringen. Dieses grundlegende Werk ist der „Führer für Forschungsreisende" von *Ferdinand v. Richthofen* (1886). *Richthofen* war zwar von Hause aus Geologe, aber seine mehr als zehnjährigen Reisen in Europa und fremden Weltteilen hatten seinen Blick unendlich erweitert und auf die Entstehung der Oberflächenformen gerichtet. In der Form einer Anleitung zu Beobachtungen im Felde behandelt er der Reihe nach die einzelnen, geomorphologisch wirksamen Kräfte, dabei stets auf eigenen Erfahrungen und Beobachtungen fußend, sucht er voneinander getrennte genetische Typen aufzustellen und am Schlusse die Hauptformen der

Bodenplastik übersichtlich zu gruppieren. Im großen waltet also, wie man sieht, die geologische Betrachtungsweise, vor allem in der Lehre von Kräften noch vor. Kurz darauf erhielt auch Frankreich in des Topographen *de la Noë* und des Geologen *de Margerie* „Les formes du terrain" (1888) eine genetische, zusammenfassende Morphologie, die allerdings fast ausschließlich auf die Wirkung des fließenden Wassers Rücksicht nimmt, damit aber den amerikanischen Ideen in Europa weiter den Boden bereitend. Bald darauf (1894) erschien dann das erste systematische Handbuch aus der Feder *Albrecht Pencks*, das bis auf den heutigen Tag das einzige geblieben ist. Hier wird zum ersten Male der Versuch unternommen, auf Grund einer weit umfassenden Kenntnis der reichen Literatur und ausgedehnter persönlicher Erfahrung ein vollständiges System aufzustellen: man erhält dadurch allerdings, wie *Philippson* sehr richtig hervorgehoben hat[1]), den Eindruck, als ob dem System auch ein vollständig systematischer Ausbau der Wissenschaft entspräche, während wir von diesem doch auch heute noch ziemlich weit entfernt sind.

In dieser Zeit macht sich nun zum zweiten Male ein Einfluß von jenseits des Ozeans bemerkbar, der zu einer teilweisen Umwälzung der Ideen auf unserem Gebiet geführt hat. Der größte Teil unserer gegenwärtigen Literatur zeigt diesen Einfluß in von Tag zu Tag steigendem Maße, so daß auch Forscher, die den neuen Gedanken prinzipiell ablehnend gegenüberstehen und ihnen nur eine kurze Blüte prophezeien, sich ihnen nicht ganz zu entziehen vermögen. Diese Wandlung knüpft sich vor allem an den Namen William Morris Davis, der in Amerika eine große Schule gegründet hat, und auch bei uns durch viele Reisen auf europäischem Boden und seinen längeren Aufenthalt in Berlin und im vergangenen Winter in Paris als Austauschprofessor immer tiefer zu wirken beginnt, wenn sich auch seine Ideen nicht überall der gleichen Wertschätzung erfreuen, in Frankreich z. B. eine viel bereitwilligere und raschere Aufnahme gefunden haben als in Deutschland. Die Zahl der *Davis*schen Schriften ist ungeheuer groß; sie sind aber in zahllosen Zeitschriften verstreut, und es war daher ein recht glücklicher Gedanke seines Schülers *D. W. Johnson*, die wichtigsten seiner Abhandlungen zu sammeln und unter dem Titel „Geographical Essays" [2]) herauszugeben. Die Bedeutung von *Davis* ruht nun weniger in den, wenn auch zum Teil glänzenden Untersuchungen von Einzelproblemen, sondern liegt vielmehr in der Bereicherung unserer Methode, und wenn es wahr ist — und es ist wahr —, daß auch der geringste Fortschritt in der Methode einer Wissenschaft, auf der sie weiter bauen kann, viel wertvoller ist, als eine noch so vortreffliche zusammenfassende Darstellung bisheriger Kenntnisse, so wird man *Davis'* Stellung in der Wissenschaft richtig einzuschätzen vermögen. Sich ein gutes Bild von seiner Methode zu machen, ist heute allerdings noch mit ziemlichen Schwierigkeiten ver-

[1]) *Philippson*, Die Morphologie der Erdoberfläche im letzten Jahrzehnt. Geogr. Zeitschr., II, 1896, S. 521.

[2]) Boston 1910.

knüpft, da *Davis* bisher noch keine systematische Darstellung von ihr gegeben hat, so daß sich vor allem der jüngere Geograph nur mit großer Mühe eine Vorstellung von ihrem Wesen zu machen vermag. Die kleine, im Jahre 1898 erschienene „Physical Geography" läßt gerade in methodischer Hinsicht im Stich, vermutlich, weil die Methode zu jener Zeit noch nicht vollständig genug ausgebaut war. Aber auch die vor kurzem herausgekommene, von *Davis* in Gemeinschaft mit *Braun* bearbeitete deutsche Ausgabe des Buches[1]) ist in diesem Punkte nicht ganz befriedigend, und so wird denn das demnächst erscheinende Werk: „Die erklärende Beschreibung der Landformen", das *Davis*' Vorlesungen[2]) an der Berliner Universität enthält, und das vom Verfasser dieser Zeilen ins Deutsche übertragen wurde, die erste umfangreichere Darlegung sein; es wird übrigens nur in deutscher Sprache publiziert werden.

Einer Vorführung der *Davis*schen Methode sollen die folgenden Betrachtungen gewidmet sein. Daß wir ihnen eine so umfangreiche Einleitung voraussandten, darf wohl darin seine Rechtfertigung finden, daß eben über die Stellung der Geomorphologie und ihre Methoden die Ansichten immer noch so weit auseinander gehen, und daß man nur, wenn man diese Verhältnisse fortdauernd im Auge behält, die Bedeutung der Förderung, die wir *Davis* verdanken, zu würdigen vermag.

*Davis*' Verdienste in dieser Beziehung sind nun dreifacher Art. Er hat zunächst bereits seit längerer Zeit den Finger in eine sehr schmerzhafte Wunde der Geomorphologie gelegt, nämlich in ihre Terminologie. Hier herrscht die größte Verwirrung, zuvörderst, weil für dieselbe Sache die verschiedensten Ausdrücke eingeführt worden sind, aber auch wiederum für verschiedene Gegenstände derselbe Name gebraucht wird. So findet man, um nur ein Beispiel anzuführen, den Ausdruck „Kliff" häufig sowohl zur Bezeichnung der durch das Meer erzeugten Wände an den Küsten als auch für Steilhänge rein erosiven Ursprungs verwendet. Der Augiasstall der Nomenklatur mußte endlich einmal gründlich gereinigt werden. *Davis* hat nun die Morphologie mit einer stattlichen Anzahl von Termini bereichert, und man hat ihm deswegen den Vorwurf gemacht, daß er dadurch eine Schwierigkeit geschaffen und außerdem Mißverständnissen den Boden bereitet habe. Mit Unrecht! Denn in jeder Wissenschaft — man denke nur an Botanik und Zoologie! — muß man eine ganze Menge von Namen lernen, was aber durch den Gebrauch verhältnismäßig leicht und rasch geschieht. Besonderen Anstoß hat man daran genommen, daß die von *Davis* vorgeschlagenen Termini nicht immer philologisch einwandfrei gebildet seien, was in der Tat vielfach richtig ist, und es ist eine ziemlich lebhafte Polemik über diesen Punkt entstanden. Es ist das nicht, wie man denken könnte, ein müßiger Streit um Worte und man kann sich in der Wissenschaft nicht auf *Julias* Standpunkt stellen: „What's in a

[1]) *Davis* und *Braun*, Grundzüge der Physiogeographie. Leipzig 1911.
[2]) Leipzig 1912.

name? that which we call a rose, by any other name would smell as sweet", sondern hier heißt es: principiis obsta! Man muß darauf sehen, daß die Bezeichnungen wirklich gut und zweckentsprechend sind und so lange Vorschläge machen, bis etwas wirklich befriedigendes gefunden ist, denn wenn sich ein Name erst einmal eingewurzelt hat, ist es überaus schwer, ihn wieder auszurotten. Gibt man die Wichtigkeit einer systematisch aufgebauten Terminologie zu, so sollte auch jeder sein Teil zu ihrer Ausbildung und Verbesserung beitragen. In Deutschland stellt man sich nun vielfach auf den Standpunkt, daß die *Davis*sche Nomenklatur nicht eher Eingang in die Literatur finden dürfe, bis für die einzelnen Termini deutsche Ausdrücke geschaffen seien. Aber alle Naturwissenschaften verfügen über einen ziemlich reichlichen Bestand an fremdsprachlichen Namen, die meist auf das Lateinische zurückgehen, und dadurch wird eine leichte Verständlichkeit erzielt, deren Vorteile bei der Internationalität der wissenschaftlichen Literatur, besonders auch der geographischen, nicht unterschätzt werden dürfen. Gerade diejenigen Worte, die man in keinem Lexikon aufgeführt findet, sind dann bei der Lektüre sofort verständlich, da es sich ja dann in den einzelnen Sprachen nur um kleine Abwandlungen handelt, wie sie durch die Verschiedenheit der Sprachen bedingt sind. Man kann sich des Eindrucks nicht erwehren, als ob man bei den Diskussionen über diesen Punkt, wenn auch vielleicht unbewußt, ein Moment hineingetragen hat, welches hier keine Rolle spielen darf, nämlich ein moralisches, während man bei terminologischen Fragen doch nur auf praktische Gesichtspunkte und möglichst große philologische Richtigkeit zu sehen hat. Auch das Bedenken *Hettners*[1]) vermögen wir nicht zu teilen, daß die fremdsprachlichen Worte für die eigenen Volksgenossen eine Schwierigkeit schüfen, da sie erst gelernt werden müßten. Wissenschaftliche Bezeichnungen sind in den meisten Fällen doch nur dem verständlich, der schon weiß, worum es sich handelt, und es scheint doch dieselben Schwierigkeiten zu bereiten, ob man z. B. Abdachungsfluß oder „konsequenter Fluß" lernt der Laie; wird sich auch bei dem Abdachungsfluß nichts rechtes denken können.

Alles dies ist, wie gesagt, absolut nicht etwa gleichgültig, aber die angeführten Dinge treten doch in ihrer Bedeutung zurück gegenüber einer anderen prinzipiellen Frage der Nomenklatur. Die *Davis*sche hat nämlich die Eigenschaft, daß sie stets erklärend, niemals rein beschreibend sein will, d. h. jeder Terminus soll bereits einen Hinweis auf die Entstehungsweise der von ihm bezeichneten Form enthalten. Wir werden später sehen, was alles die kurze Bezeichnung „junges, konsequentes Tal" umgreift, nämlich ein Tal, das auf einer ursprünglichen Abdachung sich ausgebildet hat, das noch keinen breiten Boden besitzt, dessen Gehänge steil sind und das nackte Gestein an vielen Stellen heraustreten lassen. Hat man sich nun

[1]) *Hettner*, Die Terminologie der Oberflächenformen. Geogr. Zeitschr., XVII, 1911, S. 135.

mit dieser Nomenklatur vertraut gemacht, so ist man imstande, sich ein wirklich adäquates Bild der morphologischen Züge einer Landschaft aus der Beschreibung zu machen, und es wird sich noch zeigen, wie gerade bei der *Davis*schen Methode darauf großes Gewicht gelegt wird, daß die verschiedenen Teile einer Landschaft in ganz bestimmten Beziehungen zueinander stehen müssen, so daß sich aus der Hervorhebung einer Eigenschaft sogleich verschiedene andere ergeben. Viele Worte werden dadurch erspart, während man sonst nur zu häufig selbst bei einer noch so ausführlichen Beschreibung einer Gegend gerade über diese Beziehungen der einzelnen Formen im unklaren gelassen wird. Darin geht *Davis* allerdings vielleicht doch zu weit, wenn er die „empirische" Terminologie, also eine nur die Formen äußerlich beschreibende zugunsten einer erklärenden, d. h. genetischen vollständig verwerfen will. Beide haben eine Berechtigung, auch eine neutrale Terminologie ist notwendig. Es wird immer der Fall eintreten, daß man sich über die Entstehung irgend einer Oberflächenform nicht im klaren ist. Man sieht z. B. eine Stufe im Terrain vor sich, vermag aber nicht zu entscheiden, ob man es mit einer durch tektonische oder durch erosive Kräfte gebildeten, also einer sogenannten Bruchstufe oder einer Landstufe zu tun hat. Dann steht einem zur Beschreibung der völlig neutrale Ausdruck „Stufe" zur Verfügung, der über die Entstehungsweise der Form nichts aussagt, aber sie beschreibt, so daß der Leser sie in das Landschaftsbild einordnen kann. Oder man beobachtet eine ebene Fläche, die eine stark dislozierte innere Struktur vollkommen glatt, ohne Rücksicht auf diesen inneren Bau durchschneidet. Zwei Vorgänge können etwas Derartiges zuwege bringen: die Brandungswelle des Meeres und die fortdauernde Abtragung der subaerischen Kräfte. Welcher von beiden aber in einem bestimmten Falle am Werke gewesen ist, oder ob gar beide an der Herausbildung beteiligt sind, und in welchem Verhältnis, das ist ein Problem, dessen exakte Lösung häufig große Schwierigkeiten bereitet, und daher hat man für eine solche Oberflächenform, wenn ihre Genesis noch zweifelhaft ist, den Namen Rumpffläche vorgeschlagen. Für *Davis* gibt es nur die beiden Bezeichnungen: Abrasionsfläche und Peneplain, die bereits eine Erklärung involvieren. Diese beiden herausgegriffenen Fälle sind solche, wo man im Besitze einer neutralen Ausdrucksweise ist, in vielen anderen gibt es sie nicht, aber die Notwendigkeit ihrer Schaffung ergibt sich eben aus rein praktischen Gründen, da die Kriterien zur Unterscheidung sich äußerlich nahestehender Formen bisher noch nicht genügend ausgebildet sind.

Weiterhin hat *Davis* den Versuch gemacht, die geomorphologische Wissenschaft in der Hinsicht zu ergänzen, daß er der Deduktion einen weit größeren Bereich zuerkennen will, als man ihr im allgemeinen gewährt. Wenn die Art des Vorgehens der Kräfte einigermaßen bekannt ist, so kann man bestimmte Formen im Geiste ableiten, ohne sich darum zu kümmern, ob sie in der Natur wirklich vorkommen. Stellt man nun derartige „Musterformen" den beobachteten gegenüber, so wird man finden,

daß sie diesen entsprechen oder in gewissen Punkten von ihnen abweichen, und man kann dann leicht an den gedachten Formen diejenigen Veränderungen vornehmen, die geeignet sind, ein den beobachteten Formen genau entsprechendes Bild zu erzeugen. Der Hauptwert derartiger, rein geistig abgeleiteter Formen besteht darin, daß sie dem Beobachter eine Reihe von Gesichtspunkten liefern, auf die er in der Natur nachher sein Augenmerk zu richten hat, gewissermaßen einen Wegweiser geben, der auf diejenigen Stellen hinzeigt, in denen die Entscheidung gelegen ist. Man hat sich z. B. aus der Literatur eine allgemeine Vorstellung vom Bau einer Gegend gemacht: leitet man sich nun eine große Zahl von Musterformen vorher ab, die man dadurch erhalten kann, daß man die einzelnen Elemente der Form Veränderungen durchlaufen läßt — man modifiziert etwa die Mächtigkeit der Schichten, ihre Neigung und Gesteinszusammensetzung —, so wird man viel besser vorbereitet sein, wenn man im Felde die spezielle Untersuchung vornimmt, da man schon vorher weiß, auf welche Dinge es ankommt. Besonders wertvoll sind solche Deduktionen, wenn es sich darum handelt, äußerlich ähnliche Formen voneinander genetisch zu trennen. Nur zwei Beispiele mögen hier Erwähnung finden, und zwar wählen wir zunächst eine Form, von der bereits oben einmal die Rede war, nämlich eine Stufe. Der Gebirgsfuß wird dann, wenn eine Bruchstufe vorliegt, durch eine gerade Linie gebildet werden, die keinerlei Rücksicht auf die innere Struktur nimmt, sondern gleichmäßig durch alle Gesteine, harte wie weiche, gestörte wie ungestörte hindurchschneidet, während die Begrenzungslinie einer Landstufe im allgemeinen weit unregelmäßiger aussehen wird, da ja die festländische Abtragung die weichen Schichten rascher entfernen wird als die widerstandsfähigen, diese also herauspräpariert werden. Die Sporne zwischen den einzelnen am Gehänge ausgebildeten Tälern werden vorne bei einem Bruch glatt abgeschnitten sein und in dreieckigen Facetten endigen.[1]) Solche Facetten können nun aber wiederum auch dadurch zustande kommen, daß die Brandungswelle die Sporne anschneidet und Kliffe entstehen läßt. Diese müssen jedoch sich aus einer Plattform erheben, die einen etwa dreieckigen Grundriß besitzt und von der Brandung bei ihrem Fortschreiten erzeugt ist. Je nach den Verhältnissen, welche gerade vorliegen, ist man also imstande, zu entscheiden, wie die Entstehungsweise der Form gewesen ist. Oder ein anderer Fall. Es zeigt sich, daß bei mit regelmäßigen Mäandern ausgestatteten Flüssen, wenn das Mäandersystem voll entwickelt ist, die Nebenflüsse stets in die ihnen zugewandte Schlinge münden, ein gesetzmäßiges Verhalten, das auf den ersten Blick nicht leicht erklärbar erscheint. Wenn man aber nun daran denkt, daß sich die Mäander dauernd flußabwärts fortbewegen, so ergibt sich sofort, daß eine konkave Krümmung, die einen seitlichen Zufluß erhält — konkav für diesen Nebenfluß — sehr bald in Konflikt mit diesem geraten und

[1]) *Davis*, The Mountain Ranges of the Great Basin. Bull. Mus. Comp. Zool., XLII, 1903, pag. 148 ff.

endlich dessen unterstes Laufstück abschneiden muß. Ist dann der Nebenfluß erst einmal gezwungen worden, in den sich ihm entgegenkrümmenden Bogen einzumünden, so vermag er nachher nicht mehr seine Mündung zu verschieben, sondern er muß seine neue Lage stets weiter beibehalten.[1]) Auch gegen diesen ausgedehnteren Gebrauch der Deduktion sind Einwendungen gemacht worden, und man hat hierin eine Gefahr gesehen, weil man nur zu leicht bei solchen Ableitungen Irrtümern ausgesetzt sei. Das ist selbstverständlich, denn wo wäre man in der Wissenschaft vor Irrtümern sicher? Man wird zugeben können, daß eine Klippe in der Beziehung vorhanden ist, daß man etwas in die Natur hineinsieht, was gar nicht vorhanden ist. Gibt man aber den Wert deduktiver Betrachtungen für morphologische Untersuchungen überhaupt zu – die Beobachtung wird dadurch gar nicht beeinträchtigt, in der Natur wird stets die Entscheidung liegen müssen —, dann darf man sie nicht aus diesen Gründen verwerfen: die Art der Anwendung einer Methode kann niemals beweisend für ihre Güte oder Schlechtheit sein; sie trägt ihren Wert in sich selbst, ist gut oder schlecht an sich und kann nicht dadurch entwertet werden, daß ein falscher oder fehlerhafter Gebrauch von ihr gemacht wird.

Nun zur Methode selbst! Die *Davis*sche Methode will eine Anleitung sein, nach der man bei morphologischen Untersuchungen vorgehen kann. Sie will der methodelosen, der schrecklichen Zeit in der Morphologie ein Ende machen, denn man muß konstatieren, daß bislang fast ein jeder sich seine eigene Methode zurechtgezimmert hat. Sie behauptet nicht, die allein seligmachende Methode zu sein, aber sie ist eben wenigstens eine, und wenn sie auch noch ganz jung ist und in vielfacher Hinsicht eines weiteren Ausbaues bedarf, so hat sie doch bereits recht gute Dienste getan und sich vielfach nützlich erwiesen. Vor allem möchte sie eben an die Stelle von Methoden, die keine reinliche Scheidung von Geologie und Geomorphologie erkennen lassen, eine solche setzen, die wirklich rein geographisch ist, bei der das oben skizzierte Verhältnis von Geologie und Morphologie deutlich zum Ausdruck kommt.

Diese neue Methode hat sich entwickelt aus der Lehre vom Zyklus der Formen. Der Gedanke, daß die Oberflächenformen nichts unveränderlich Starres darstellen, sondern vielmehr im Laufe der Zeit gewisse Veränderungen, und zwar in einer ganz bestimmten Folge durchlaufen, ist allerdings nicht neu, stammt nicht von *Davis*. Man findet derartige Ideen bereits lange vorher bei amerikanischen Geologen ausgesprochen, namentlich bei *Powell* und *Gilbert*; aber auch der Einfluß Europas, besonders *v. Richthofens* ist unverkennbar. Es ist jedoch das große Verdienst von *Davis*, sie in eine systematische Ordnung gebracht und auf ihnen eine Methode gegründet zu haben. Jede durch die tektonischen Kräfte, durch

[1]) *Davis*, The Development of River Meanders. Geol. Mag., (4), X, 1903, pag. 147.

Hebung, Senkung, Faltung, Verbiegung geschaffene Form muß nach und nach unter der dauernden Einwirkung der von außen angreifenden Kräfte des Luftkreises Umgestaltungen erfahren, die man deduktiv ableiten kann. Sie wird in einer ganz bestimmten Aufeinanderfolge bestimmte Gestalten annehmen, während sie allmählich zerstört und abgetragen wird, und wenn tektonische Bewegungen von neuem in dem betreffenden Rindenstück der Erde einsetzen, so wird sich die Geschichte des Gebietes noch einmal wiederholen, und so fort bis in die Unendlichkeit. Das theoretische Endziel — wir müssen später noch ausführlich gerade auf diesen Punkt zu sprechen kommen — wird stets bei einer ungestörten Arbeit der zerstörenden Kräfte eine ebene Fläche sein, die zu neuem Leben nur dann erwachen kann, wenn die Kruste neue Verschiebungen erleidet. Dies ist der Grundgedanke der Lehre vom Zyklus der Formen, auf dem sich also die *Davis*sche Methode aufbaut. An dem Namen „Zyklus" hat man sich vielfach gestoßen[1]), da es sich eigentlich nicht um einen Kreislauf der Vorgänge handele, sondern um einen einfachen Ablauf, und dadurch, daß Unterbrechungen durch tektonische Störungen jederzeit einzutreten vermögen, nur äußerst selten ein wirklicher Kreislauf vorkommen könne. Dem gegenüber kann man erwidern, daß eine „Wiederkehr des ewig Gleichen" allerdings nicht zu erwarten ist, etwa in der Weise, wie man in der Chronologie von einem Sonnen-, Mond- oder Osterzyklus spricht. Die Stoiker glaubten an eine zyklische Wiederkehr alles Geschehens, indem nach ganz bestimmten Zeiträumen Verbrennungen und Überflutungen der Erde immer wieder aufträten, und sich so „Weltjahr" an „Weltjahr" reihe. So liegen die Dinge in unserem Falle nicht. Ein wirklicher Rundgang könnte nur dann zustande kommen, wenn sich die tektonischen Störungen immer in absolut derselben Weise äußerten; wir wissen jedoch, daß die Erdkruste zusammengestaucht und zerbrochen werden kann, und daß selbst einfache Bewegungen in der Vertikalen wohl niemals ohne Verbiegungen oder Schrägstellungen vor sich gehen. Der Beginn eines neuen Zyklus kann demnach durch verschiedenartige Prozesse eingeführt werden, das Endresultat des Zyklus wird aber im Prinzip stets dasselbe, nämlich eine ebene Fläche sein, wenn auch dieses schließliche Bild bei den einzelnen Zyklen manche kleine Abweichungen, z. B. in der Anordnung der Flüsse, aufweisen wird. Daß dieses Ziel nicht immer erreicht wird, ist dabei nicht von allzu großer Bedeutung; in jedem Falle besteht die Tendenz, die Vorgänge streben ihm zu. Wir müssen aber bemerken, daß gerade dieses Endziel Theorie ist, und zwar eine Theorie, die sich keineswegs allseitigen Beifalls erfreut, wie wir noch sehen werden. Bekennt man sich aber zu ihr, so darf man auch wohl von einem Zyklus, einem Kreislauf der Formen reden.

Daraus, daß jede Oberflächenform ursprünglich auf irgend welche tektonische Bewegungen zurückzuführen ist, und wir diese nur aus dem

[1]) Siehe z. B. *A. Hettner*, Die Arbeit des fließenden Wassers. Geogr. Zeitschr., XVI. 1910. S. 380.

geologischen Bau zu erschließen vermögen, ergibt sich die Notwendigkeit, daß, ehe man zu dem Verständnis einer Form gelangen kann, die innere Struktur untersucht werden muß. Ihre Kenntnis bildet die unerläßliche Grundlage aller weiteren Betrachtungen.

Diese tektonisch gebildete Form stellt gewissermaßen die Urform dar, aus der sich die gegenwärtige Form herausgebildet hat. Dies geschieht durch den Angriff der Verwitterung, der Flüsse, des Regens, des Windes, der Gletscher, der Wellen, also der exogenen Kräfte, wie sie die Geologen nennen. Es gilt demnach, den Einfluß dieser „Vorgänge", wie sie von *Davis* bezeichnet werden, zu bestimmen, festzustellen, welches die Urform gewesen ist und welche Veränderungen diese erlitten hat. Bei den vorher schon einmal herangezogenen Bruchstufen wird die Urform im allgemeinen relativ leicht zu rekonstruieren sein. Verwitterung und Erosion bearbeiten zwar den Steilabfall an dem stehengebliebenen oder gehobenen Flügel der Verwerfung, und es werden zahlreiche Schluchten in ihn hineingerissen werden. Sind diese aber auch schon weit ins Innere zurückgeschritten, so wird die ursprüngliche Lage des Bruchrandes an den der Verwerfung zugewandten Sporen doch lange Zeit hindurch gewahrt werden. Erst wenn die Abtragung sehr lange am Werke gewesen ist und die Stufe bereits stark verwischt hat, wird die Wiederherstellung der einstigen Verhältnisse größere Schwierigkeiten machen. In genau derselben Weise muß man in allen Fällen vorgehen, wobei allerdings häufig die Rekonstruktion nicht so leicht geschehen kann, wie in dem gewählten Beispiel. Eine Komplikation wird auch dadurch hervorgerufen, daß verschiedene Vorgänge gleichzeitig oder nacheinander sich an der Ausgestaltung der heutigen Form beteiligt haben, etwa Verwitterung, Erosion und Gletscher. Die Fig. 2 und 3 zeigen Gehängeformen aus einem und demselben Gebiet, nämlich aus den Hochflächen der Abruzzen. Man blickt auf die westliche Umgrenzung des größten dieser „Altipiani", des Piano di Cinque Miglia. Beide sehen einander ungemein ähnlich, nur gewahrt man auf dem zweiten Bilde deutlich eine Unterbrechung in der Mitte des sonst so gleichmäßig absteigenden Gehänges: eine kleine Nische ist eingesenkt. Es ist ein Kar, ein Relikt aus der Eiszeit, in der die höchsten Teile der Abruzzen kleine Gletscher trugen, die dann an der Modellierung der Formen mitgewirkt haben, aber es ist hier leicht, ihre Effekte von denen der gewöhnlichen Abtragung zu trennen.

Es handelt sich also dabei um die Feststellung des Verhältnisses der tektonisch gebildeten zu den wirklich vorhandenen Oberflächenformen. Die Erkenntnis, daß die meisten Formen der Abtragung ihre Entstehung verdanken, daß die innere Struktur nur bis zu einem gewissen Grade die Formen beherrscht, ist ja eine Errungenschaft der neueren Morphologie.

Zunächst stehen sich zwei verschiedene Arten von Zyklen gegenüber, die sich nach der Art der vorherrschend tätigen Kräfte unterscheiden, nämlich einmal der Abtragungszyklus auf dem Festland selbst, der unter der Einwirkung der subaerilen Vorgänge vonstatten geht, und andrer-

seits der marine Zyklus, dessen Agentien Wellen, Gezeiten und Strömungen sind, die die Festländer an ihrem Rande angreifen. Während es sich aber in diesem Falle nur um einen im großen und ganzen sich gleichbleibenden Vorgang handelt, sind die einzelnen Kräfte des Luftkreises gewissen Schwankungen ihres Intensitätsverhältnisses unterworfen, die sich vor allem auch den allgemeinen klimatischen Verhältnissen richten. Dazu kommt noch, daß je nach der Art der Gesteinszusammensetzung, nämlich je nach der Art der Durchlässigkeit der Gesteine bestimmte Modifikationen in der Arbeitsweise dieser Kräfte erzeugt werden, die naturgemäß auch auf die Formen zurückwirken. Wir können heute an der Erdoberfläche drei große

Fig. 2.

Reife Gebirgsformen am Piano de Cinquemiglia, Abruzzen.
(A. Rühl phot.)

klimatische Regionen unterscheiden, wenn wir die klimatische Bedingtheit der Oberflächenformen zum Einteilungsprinzip wählen.[1]) Einmal die humiden Gebiete, d. h. solche, in denen der Niederschlag die Verdunstung überwiegt, so daß Wasser vorhanden ist, welches Flüsse zu speisen vermag. Dann aride Regionen, die durch eine hohe Verdunstung charakterisiert sind, so daß der Niederschlag aufgezehrt wird, und drittens schließlich nivale, wo der Niederschlag in der Form von Schnee fällt, und zwar in einer solchen Menge, daß die Abschmelzung nicht imstande ist, ihn auf-

[1]) *Penck*, Versuch einer Klimaklassifikation auf physiogeographischer Grundlage. Sitzungsberichte d. Ak. d. Wiss. Berlin, 1910, S. 236.

zuzehren und Gletscher die Fortführung übernehmen. Da nun humides Klima in der geologischen Gegenwart an Ausdehnung die anderen bei weitem übertrifft — es nimmt etwa drei Viertel der Erdoberfläche ein —, so werden diese Zustände von *Davis* als „normale“ genommen, und man nennt daher diesen Zyklus, dessen Hauptkennzeichen in der Abtragung durch Verwitterung, Regen und Flüsse besteht, den normalen Zyklus. Ihm gegenüber stehen dann der aride und der nivale, oder, wie *Davis* ihn nennt, der glaciale Zyklus; sie stellen in dieser Auffassung nichts weiter als eine lokale Abweichung von dem normalen Verlauf der Abtragung dar. *Penck* hat jedoch kürzlich die völlig zutreffende Bemerkung gemacht, daß

Fig. 1.

Dieselben mit einem Kar in der Mitte.
(A. Rühl phot.)

der nivale und der aride Zyklus eigentlich für die Gebiete, in denen sie herrschen, ebenfalls normal sind; für Nordeuropa war z. B. während der Eiszeit der nivale Zyklus durchaus normal. Man könnte daher vielleicht besser von einem humiden Zyklus reden.[1]) Weil in löslichem Gestein, wie wir sehen werden, die Erosionsgesetze eine sehr bedeutsame Veränderung erfahren, so muß man eigentlich von dem normalen Zyklus noch eine besondere Form abtrennen, die man dann als Karstzyklus bezeichnen kann. Eine ganz untergeordnete Rolle spielen in der *Davis*schen Auffassung die

[1]) Die Physiogeographie von *Davis* und *Braun*. Zeitschr. d. Ges. f. Erdk. Berlin 1911, S. 562.

Vulkane: sie nehmen ja auch im allgemeinen nur ganz eng begrenzte Flächenräume ein, und nur in den seltenen Fällen, wo sich vulkanische Massen über ein großes Gebiet ergossen haben, bestimmen sie die Oberflächengestaltung. Im allgemeinen beeinflussen jedoch diese parasitischen Gebilde die Entwicklung einer Landschaft nur wenig und sie werden daher nur als „Störungen" eines Zyklus betrachtet.

Wir müssen nun zunächst den Verlauf des Zyklus kennen lernen, und zwar des idealen, durch keinerlei „Unterbrechungen" und „Störungen" gehinderten Zyklus, und wir werden uns dabei auf die Behandlung des normalen Zyklus beschränken können, da es ja an dieser Stelle nur auf die Prinzipien ankommt. Wir gehen dabei natürlich von einem sehr einfachen Falle aus, nämlich einer durch tektonische Bewegungen geschaffenen Landmasse, die durch eine hebende Kraft, deren Wesen uns zunächst nicht weiter interessiert, aus dem Meere gehoben wird. Wir wollen die weitere Voraussetzung machen, daß diese Hebung, wie es auch wohl niemals in der Wirklichkeit vorkommen wird, nicht ganz gleichmäßig erfolgt — Regelmäßigkeit ist in der Natur stets die Ausnahme — sondern daß einzelne Teile stärker, andere schwächer gehoben werden, und außerdem, daß die Gesteinsstruktur keine größeren Verschiedenheiten aufweisen soll. Auf einer Landoberfläche, die absolut homogen zusammengesetzt wäre und eine vollkommen gleichmäßige Abdachung besäße, können sich überhaupt keine Täler ausbilden. Denn der oberflächlich abfließende Teil des Regenwassers hat dann keine Veranlassung, sich an irgend einem Punkte zu sammeln, und es wird daher die Entwässerung nicht in einzelnen Linien, sondern vielmehr in einer Schicht erfolgen. Wir haben also in unserem Falle eine Urlandoberfläche vor uns, auf der sich in den Vertiefungen das Wasser zu einzelnen Urflußläufen zusammenfinden wird, die sich dann wieder zu einem Urflußsystem vereinigen. Diese Uroberfläche wird nun von der Verwitterung, dem spülenden Regen und der fluviatilen Erosion angegriffen, wir befinden uns zunächst im Stadium der Kindheit. Es bildet sich an den Abhängen ein Verwitterungsboden, der unter dem Einfluß der Durchfeuchtung und des Wiedertrocknens ständig sein Volumen ändert und der Schwerkraft folgend langsam herabwandert; an den nicht allzu flachen Hängen spült der Regen lose Teilchen rasch an den Böschungen hinunter. Alles dieses Material wird den Flüssen zugeführt und mit seiner Hilfe scheuern sie ihr Bett aus; es beginnt das Einschneiden der Täler. Auf diese Weise werden die Urformen bereits ein wenig modifiziert, und es gehen aus ihnen Formen hervor, die wir als konsequente bezeichnen, weil sie durch die ursprünglichen Abdachungsverhältnisse bestimmt sind. Allerdings haben diese Veränderungen schon eingesetzt, als die Hebung begann; in dem Moment, als zum ersten Male der Meeresboden auftauchte und trockenes Land wurde, haben auch bereits die subaerilen Kräfte auf ihn eingewirkt, so daß, streng genommen, die Urformen nur für einen Augenblick bestanden haben. Etwas anders werden sich z. B. die Vulkane verhalten. So lange noch glutflüssige Lava dem Krater entströmt und am

Gehänge herunterfließt, wird sich wegen der Erhitzung des Bodens kein Wasser hier sammeln können, in diesem Falle muß die Urform vollständig entwickelt sein, ehe sich konsequente Formen auf ihr bilden können. Waren durch die ungleichartige Hebung auch beckenförmige Vertiefungen geschaffen, so wird sich in ihnen das Wasser zu einem See, einem Ursee, aufstauen, aber diese Urseen werden dadurch bald in konsequente Seen umgestaltet, daß Schutt in sie hineingeschafft wird. Die Flüsse suchen sich in die Tiefe einzuschneiden, und zwar geht dieses Einsägen von der Mündung gegen die Quelle hin vor sich. Damit wird das Jugendstadium eingeleitet. Die Mündung des Flusses, der Meeresspiegel, stellt, von be-

Fig. 4.

Junges Tal. Oberlauf des Sagittario oberhalb von Anversa im Westen des Beckens von Sulmona. Abruzzen. (A. Rühl phot.)

sonderen Fällen abgesehen, die Erosionsbasis für alle Flüsse dar; unter diesen hinab können die Flüsse sich nicht eintiefen, dieser eine Punkt liegt dauernd fest, so lange eben der Meeresspiegel selbst keinerlei Bewegungen ausführt. Der Fluß wird sich ein enges Tal schaffen, dessen Boden nur von seinem Wasser eingenommen wird, so daß solche jungen Täler dem Verkehr und der Besiedelung sehr große Schwierigkeiten bereiten (Fig. 4). Aber nicht der Fluß allein ist bei der Herauspräparierung der Täler beteiligt, sondern auch in hohem Maße die Verwitterung an den Gehängen, und zwar arbeitet sie in diesem Stadium sogar ziemlich rasch, weil die Gehänge meist steil sind und nur eine geringe Vegetationsdecke die Zerstörung hindert. Abbrüche größerer Gesteinsmassen sind bei der

Schroffheit der Talwände nichts Seltenes; dazu kommt dann noch die Einwirkung des Gekriecches und des spülenden Wassers, das nach jedem heftigeren Regen nicht unbeträchtliche Effekte zu erzielen vermag. Da nun die Erosionskraft eines Flusses in der Hauptsache eine Funktion seiner Wassermasse und seines Gefälles ist, so wird naturgemäß der Hauptfluß sein Bett sehr viel rascher einzugraben vermögen als die kleineren Nebenflüsse. Die Folge davon wird sein, daß diese ihrem Führer nicht zu folgen imstande sind und daß ihre Täler über denen des Hauptflusses münden, oder, wie man sich ausdrückt, hängen. Derartige Hängetäler sind eine weit verbreitete Erscheinung; man hat allerdings meist angenommen, daß sie mit der ehemaligen Vergletscherung eines Tales zusammenhängen, wobei man die verschiedenartigsten Ursachen für das Phänomen hat verantwortlich machen wollen. Mehrfache Beobachtungen aus verschiedenen Teilen der Erde haben jedoch gezeigt, daß diese deduktiv abzuleitenden „normalen" Hängetäler tatsächlich in der Natur vorkommen. *Volz* hat z. B. bei zahlreichen Wildbächen Sumatras derartige Verhältnisse festgestellt [1]), ebenso *Bowman* in den bolivianischen Anden.[2]) Bei den von *v. Łoziński* beschriebenen podolischen Flüssen, die ein starkes Gefälle im Unterlauf, ein schwaches im Oberlauf besitzen [3]), kann man nicht mehr von Hängetälern reden, denn bei ihnen ist die gleichsohlige Mündung ja bereits hergestellt. Diese Hängetäler sind allerdings, das muß man zugeben, eine seltene Erscheinung: dies erklärt sich jedoch sehr einfach dadurch, daß die Energie des Hauptflusses ziemlich schnell erlahmt, so daß dann bald die Nebenflüsse ihm nachkommen und ihre Mündung in ein gleiches Niveau mit ihm bringen können. Die Schlucht des Rheins im Schiefergebirge befindet sich noch im jugendlichen Stadium, Straße, Eisenbahn und Ortschaften haben nur einen äußerst beschränkten, zum Teil erst künstlich geschaffenen Raum zur Verfügung, aber die Seitentäler treffen sie überall gleichsohlig: der Rhein steht hier nämlich nicht mehr im Beginne der Jugend, sondern ist ihrem Ende bereits sehr nahe, so daß seine Nebenflüsse schon seit längerer Zeit schneller in die Tiefe zu erodieren vermögen als er selbst. Die Seen werden in der Jugendzeit nun immer weiter zugeschüttet und ihr Auslaß tiefer gelegt, sie gehören überhaupt, um mit *Peschel* zu reden, zu den vergänglichsten Gebilden der Landschaft. In welcher Weise dies geschieht, kann man sich an einem den meisten Besuchern der Schweiz bekannten See veranschaulichen. Thuner und Brienzer See waren ursprünglich nicht getrennt, sondern stellten ein einziges Seebecken dar; aber zahlreiche, mit gewaltigen Schuttmassen beladene kleine Flüßchen, die sich in die Mitte dieses alten Sees ergossen, haben ihren Schutt in ihm abgelagert und ein Delta, auf dem

[1]) *Volz*, Nord-Sumatra. I. Berlin 1908, S. 219.

[2]) *Bowman*, The physiography of the central Andes. Amer. Journ. of Sc. (4), XXVIII, 1909, pag. 395.

[3]) *v. Łoziński*, Die Übertiefung der Täler des paläozoischen Horstes von Podolien. Bull. Soc. Hongroise de Géogr., 1908, pag. 97.

jetzt Interlaken steht, hineingebaut, das schließlich über den ganzen See quer herübergewachsen ist und ihn in zwei Teile zerlegt hat. Die Seen wirken allerdings als Reinigungsbecken für die Flüsse, da sie gezwungen sind, das gesamte von ihnen mitgeführte Material fallen zu lassen, so daß auch die trübsten Gebirgswasser vollkommen klar wieder heraustreten. Dadurch wird die Erosionskraft des Wassers eine starke Verminderung erfahren, weil es vorwiegend der mitgeschleppte Schutt ist, mit dem der Fluß die Scheuerung und Aushobelung seines Bettes ausführt.

Der Hauptfluß arbeitet nun sein Bett so tief aus, wie es ihm die Höhenlage seiner Erosionsbasis gestattet — unter diese kann er ja nicht herunter — und je nach der Widerstandsfähigkeit des Gesteins, das er durchzieht, wird dies rascher oder langsamer vor sich gehen. Vermöge seines großen Gefälles vermag er zunächst allen Schutt, der ihm von den Talgehängen zugeführt wird, nicht nur fortzuschaffen, sondern er kann noch einen beträchtlichen Teil seiner Energie auf seine eigene Tieferlegung verwenden. Je mehr aber das Gefälle vermindert wird, um so geringer muß seine erodierende Kraft werden, und es wird dann ein Zeitpunkt eintreten, wo er gerade noch imstande ist, den Landschutt fortzuschaffen. Dann hat er das sogenannte Gleichgewichtsprofil oder, wie man auch sagt, das Stadium des Ausgleichs, nämlich von zu bewältigender Last und zur Verfügung stehender Kraft erreicht. Dieser Ausgleich schreitet von der Mündung allmählich talaufwärts, und so werden denn auch die Nebenflüsse erst weit später als der Hauptfluß in diesen Zustand gelangen können. Ebenso hat aber auch das Talgehänge unter der Einwirkung der Verwitterung, des Schuttkriechens und der Regenspülung allmählich den Ausgleich gewonnen. Es ist zurückgewichen und geöffnet, die Unebenheiten sind entfernt, die Gesteinsaufschlüsse verschwunden und in unserem Klima vermag dann in ständig zunehmendem Maße die Vegetation sich auf den Talwänden festzusetzen. Es ist nun klar, daß der Ausgleich des Hauptflusses und seiner Talgehänge nicht notwendigerweise zu gleicher Zeit eintreten muß, es hängt dies vielmehr von dem Intensitätsverhältnis der verschiedenen, hier an der Arbeit befindlichen Kräfte ab. Es kann der Fluß sein Bett schon völlig ausgeglichen haben, wenn die Gehänge noch lange nicht so weit gekommen sind, noch zahlreiche nackte, steile Gesteinspartien zeigen und umgekehrt: man muß daher, streng genommen, beides voneinander gesondert betrachten.

Ist nun aber dieser Zustand in der Entwicklung eingetreten, hat der Hauptfluß das Gleichgewichtsprofil ausgebildet und sind die Gehänge ebenfalls ausgeglichen, so ist das Tal in ein neues Stadium eingetreten, nämlich das der Reife. Es lassen sich hier nun noch zwei Unterstadien sondern, nämlich das der frühen und das der vollen Reife: das letztere ist erst dann vorhanden, wenn sich der Ausgleich auch bereits bei allen Nebenflüssen konstatieren läßt. Ist das Gleichgewichtsprofil vorhanden, so vermag sich der Fluß nur noch sehr langsam weiter einzutiefen. Man hat vielfach die Meinung ausgesprochen, daß von diesem Zeitpunkt ab eine

Tiefenerosion überhaupt nicht mehr möglich sei, also unter jenem gelegene Stücke des Landes gar nicht weiter abgetragen werden könnten. Eine einfache Überlegung zeigt jedoch, daß dies ein Fehlschluß ist. Denn mit der weiteren Erniedrigung wird der den Flüssen zugeführte Schutt auch immer feiner und geringer, so daß also bei gleichbleibender Wassermenge nicht mehr die gesamte Energie des Flusses zum Transport erforderlich ist, und ein gewisser Betrag übrig bleiben wird, der dann zur weiteren Tieferlegung verwandt werden kann. Aber eine starke Schwächung erfährt in jenem Zustand die Vertikalerosion unbedingt, es wird der Fluß daher dazu übergehen können, seine Ufer zu bearbeiten, also mehr seitlich zu erodieren. Zöge der Fluß völlig geradlinig dahin, so könnte es allerdings niemals dazu kommen, er würde dann stets nur in die Tiefe zu sägen vermögen. Aber völlig geradlinige Flüsse gibt es nicht und kann es nicht geben, da in der Wirklichkeit die Landmassen niemals von absoluter Homogenität sind, niemals überall die gleiche Widerstandsfähigkeit besitzen. Immer werden Stellen vorhanden sein, die das Wasser veranlassen, einen, wenn auch unbedeutenden, seitlichen Abweg zu machen, so daß also bereits im Anfangsstadium alle Flüsse einen mehr oder weniger geknickten Lauf besitzen. Dadurch wird nun der Fluß in den Stand gesetzt, sein Bett von der Seite anzugreifen, aber im Beginne seiner Entwicklung wird die Tendenz zur Tiefenerosion die der seitlichen bei weitem überwiegen. Erst dann, wenn jene nach Erreichung des Gleichgewichtsprofils eine so erhebliche Minderung erfahren hat, kann diese zu voller Geltung und bedeutenderen Wirkungen gelangen. Da der Stromstrich eines Flusses alle Krümmungen mitmacht, sie aber in verstärktem Maße wiederholt, so wird der Fluß bei jeder Biegung seines Laufes gegen bestimmte Teile seines Ufers hingedrängt, von anderen jedoch abgedrängt werden; dort wird er zerstörend wirken und unterwaschen, hier wegen der lokal verringerten Geschwindigkeit einen Teil seines mitgeführten Schuttes fallen lassen und zur Ablagerung bringen. Es bilden sich auf diese Weise zwei ihrer äußeren Form nach verschiedene Ufer aus, die man Prallhang und Gleithang oder Zerstörungs- und Anwachsufer nennen kann, die stets einander gegenüberliegen; sehr auffällig werden diese Unterschiede natürlich nur bei Flüssen mit stark gewundenem Laufe in die Erscheinung treten. Die Biegungen erhalten nun im weiteren Verlaufe der Entwicklung eine immer regelmäßigere Gestalt, wachsen nach der Seite und nehmen schließlich jene Form an, die man als Mäander bezeichnet. Verschiedentlich hat man den Nebenflüssen einen großen Einfluß bei der Entstehung dieser Mäander zuschreiben wollen. So haben *Callaway*[1]) und *Ellis*[2]) an englischen Flüssen einen solchen daraus ableiten wollen, daß die seitlichen Zuflüsse meistenteils an der konvexen Seite den Hauptfluß treffen, ihn also durch ihren Schutt, den sie bei der Einmündung zum Absatz bringen, nach dem gegen-

[1]) *Callaway*, Geol. Mag., 4. Dez., IX, 1902, pag. 450.
[2]) *Ellis*, Geol. Mag., 4. Dec., X, 1903, pag. 350.

überliegenden Ufer drängen und so zu einem Abbiegen veranlassen. Dies kann gelegentlich sicher vorkommen, wenn es sich aber um ein Gesetz von allgemeiner Gültigkeit handeln soll, so ist dabei die Voraussetzung gemacht, daß der Hauptfluß geradlinig verläuft, was jedoch aus den oben angeführten Gründen selbst auf kurze Strecken hin wohl nie der Fall sein wird. Und daß selbst dann, wenn dies wirklich einmal so sein sollte, bereits nach ganz kurzer Zeit tatsächlich Krümmungen entstehen, das kann man an Wasserläufen beobachten, die künstlichen Ursprungs sind. So berichtet *Rudzki*[1]), daß die Kanäle, die man in den 80er Jahren des vergangenen Jahrhunderts zur Entwässerung der Pripetsümpfe in Westrußland angelegt hat und die naturgemäß geradlinig gezogen wurden, heute bereits ziemlich starke Windungen aufweisen. Dadurch nun, daß bei einem mäandernden Lauf das Wasser ständig gegen die Prallufer stößt, diese fortdauernd zum weiteren Zurückweichen zwingt, werden die Sporne, die sich zwischen den einzelnen Mäanderkurven vorstrecken, im Laufe der Zeit immer niedriger und kleiner an Umfang und endlich werden sie ganz verschwinden. Es bildet sich auf diese Weise eine breite Talsohle heraus, deren Weite sich nach der Größe des Flusses richtet, und in der dann der Fluß mit seinen Mäandern sich ständig abwärts verschiebt. Diese Talsohle wird auch als Aue bezeichnet, und ihr Auftreten ist charakteristisch für das Stadium der vollen Reife. Ist eine solche durchgängige Flußaue geschaffen, sind also die Mäander nicht mehr eingeengt durch die Sporne ihrer Talwände, so kommt es häufig zu Abschneidungen eines Bogens, und es bilden sich dann kleine, halbkreisförmige Seen, die den Lauf des Flusses begleiten, die sogenannten Altwasser, die man am Mittellauf des Rheins und am Mississippi in großer Zahl sehen kann.

In dieser Zeit erreicht der Unterschied zwischen den höchsten und tiefsten Teilen einer Landschaft sein Maximum, indem eine allmähliche Steigerung von der Jugend bis zur Reife stattgefunden hat, denn jetzt ist die Tiefenerosion ja beinahe vollständig sistiert. Mit dem weiteren Fortschreiten des Zyklus nimmt diese Höhendifferenz wieder ab. Die Flüsse empfangen jetzt nur noch wenig und stets feiner und feiner werdenden Schutt, da alle lebhafteren Zerstörungsvorgänge lahmgelegt worden sind. Die Täler werden immer breiter, die Gehänge immer flacher, aber der Anteil der Flüsse an der weiteren Ausgestaltung der Landschaft erfährt jetzt überhaupt eine ständig zunehmende Verminderung. Die unmerklich arbeitenden Abtragungsvorgänge an den Gehängen gewinnen mehr und mehr die Oberhand, und damit findet eine zunehmende Verlangsamung des ganzen Vernichtungswerkes statt. Die Gehänge werden so verflacht, daß schließlich auch nicht mehr der Regen eine irgendwie beträchtlichere Abspülung vorzunehmen vermag, das Gekriech ist dann nur noch allein tätig. Bei der fortschreitenden Erniedrigung des Landes werden die Mäander endlich überhaupt keine Beeinflussung mehr durch ihre Gehänge

[1]) *Rudzki*, Physik der Erde. Leipzig 1911. S. 489.

erfahren können: sie wandern dann ganz nach ihrer Laune frei umher und werden daher als divagierend bezeichnet. Kein europäischer Fluß zeigt den bis ins kleinste geschlängelten Lauf eines solchen divagierenden Mäanders schöner als die Theiß. Alle Kräfte sind erschlafft, das Gelände erhält eine ausdruckslose Physiognomie, aber ein Stillstand in der Erniedrigung kann doch nicht eintreten; alles nimmt nur einen ganz ungeheuer langsamen Verlauf. Ist ein solcher Zustand eingetreten, so ist das Gebiet in das letzte Stadium seiner Entwicklung, in das Alter gekommen, dessen Formen durch sehr flache, weite, der Erosionsbasis sehr naheliegende Täler und ebenfalls äußerst flache wasserscheidende Schwellen gekenn-

Fig. 5.

Hochgelegene Peneplain bei Chateau-Chinon, Morvan.
(A. Rühl phot.)

zeichnet sind (Fig. 5). Eine solche Oberfläche hat *Davis* Peneplain getauft. Diese Peneplains oder Fastebenen — die *Löwl*sche Bezeichnung „Halbebenen" ist weniger passend[1]) — stellen nun das Endziel der Abtragung, des geographischen Zyklus dar. Es wird niemals möglich sein, daß die Landmasse die Form einer wirklichen Ebene annimmt; mögen die die Täler scheidenden Rücken auch noch so sanft sein, zum völligen Verschwinden werden sie nicht gebracht werden können. Mit einem minimalen Gefälle wird die Peneplain vom Meere nach dem Innern ansteigen: es

[1]) *Löwl*, Geologie. Leipzig und Wien 1906, S. 279.

wird gerade so groß sein, daß die Flüsse gerade den Reibungswiderstand zu überwinden vermögen. Ist die Peneplain sehr ausgedehnt, erstreckt sie sich weit zurück, so kann das Innere noch beträchtlichere absolute Höhen aufweisen, im anderen Falle muß sie überall dem Meeresspiegel sehr nahe kommen.

Hat man nun von irgend einem Gebiet festgestellt, welche Struktur es besitzt, welcher Art die Vorgänge gewesen sind, die die tektonisch gebildeten Urformen umgestaltet haben und bis zu welchem Stadium sie in dieser Arbeit gelangt sind, so fehlt nur noch wenig zu einer vollständigen Beschreibung. Zunächst muß man noch eine Angabe über die Höhenunterschiede der Hochformen und Hohlformen machen, also das bestimmen, was man als Relief bezeichnet. Es wurde bereits vorhin angedeutet, daß dieses während des Verlaufes eines Zyklus Schwankungen unterworfen ist, indem bis zur Reifezeit eine Zunahme, dann aber eine Abnahme erfolgt, bis endlich im Altersstadium die Differenzen beinahe völlig verschwinden. In der Jugendzeit haben sich die Gewässer noch nicht so tief einzugraben vermocht, wie es ihnen die Lage ihrer Erosionsbasis gestattet; in ihre tiefste Lage kommen sie erst in der Reife und darum gelangt das Relief auch während dieser Periode zu seinem Maximum. Welche Größe das Relief überhaupt zu erreichen vermag, das hängt natürlich davon ab, bis zu welcher Höhe das Land emporgehoben wurde, als das Spiel der zerstörenden Kräfte einsetzte.

Als ein letztes tritt dann noch die Feststellung der Gliederung hinzu, d. h. die Dichte des die Landschaft überziehenden Talnetzes. Wenn die Täler dicht gedrängt beieinander liegen, so spricht man von einer feinen Gliederung, sind zwischen den Tälern Flächenstücke von größerer Ausdehnung vorhanden, die unzertalt sind, so ist die Gliederung grob. Wie das Relief, so ist auch die Gliederung in den einzelnen Stadien verschieden. In der Jugend, wenn überhaupt noch wenige Flüsse zur Ausbildung gelangt sind, ist sie geringer als während der Reife, da inzwischen die Zerschneidung durch die Entwicklung zahlreicher Nebenflüsse große Fortschritte gemacht haben wird. Sowohl beim Relief wie bei der Gliederung ist man noch nicht zur Aufstellung von Normalwerten gekommen, es bleibt also noch einigermaßen dem Gefühl und der Erfahrung des Beobachters überlassen, was er als starkes und schwaches Relief, resp. als grobe und feine Gliederung bezeichnen will.

Seit *Penck*[1]) und *Neumann*[2]) das Studium der Flußdichte auf eine exaktere Basis gestellt haben, ist eine ganze Reihe von derartigen Untersuchungen ausgeführt worden, welche den Zweck haben, die Taldichte auch zahlenmäßig zu erfassen. Es liegt auf der Hand, daß den größten Einfluß der Gesteinscharakter ausüben wird, vor allem ist die Gliederung abhängig

[1]) *Penck,* Morphologie der Oberfläche. Stuttgart 1894, Bd. I, S. 365.

[2]) *Neumann,* Die Flußdichte des Schwarzwaldes. Beiträge zur Geophysik, IV, 1900, S. 219.

davon, ob undurchlässige oder durchlässige Schichten die Oberfläche zusammensetzen. Da in jenen der größte Teil des atmosphärischen Wassers zum Abfluß gebracht wird, wird sie hier weit größere Werte annehmen können als dort, wo das Wasser zum großen Teile vom Boden aufgeschluckt wird. Die äußersten Extreme werden also durch stark tonige Gesteine und durch Kalkstein repräsentiert werden, während der Sandstein eine Mittelstellung einnehmen wird. Während Kalkwände oft vollständig ungegliedert sind und nur einer flächenhaften Abtragung von außen unterliegen, kann die Taldichte in impermeablen Schichten so groß werden, daß überhaupt kein Stück der Oberfläche nicht von Tälern zerschnitten ist. Den überwiegenden Einfluß dieses Faktors hat für den Harz kürzlich *Raschorn* nachgewiesen[1]; auch eine gewisse Abhängigkeit vom Gefälle, also vom Stadium ließ sich ziffernmäßig konstatieren, der Oberharz zeigt eine größere Flußdichte als der Unterharz, wie man es auch nicht anders erwarten kann. Eine sehr große Rolle spielen aber daneben noch andere Momente, vor allem klimatischer Natur. In Regionen mit hohen Niederschlagssummen wird unter sonst gleichen Bedingungen die Gliederung eine sehr viel feinere sein müssen als in Trockengebieten. A priori müßte demnach die Taldichte in den polaren Gegenden und den Passatzonen sehr gering sein, in den höheren Teilen der Gebirge wiederum größer als in den unteren, während die Region des ewigen Schnees in dieser Hinsicht den Polargebieten nahestehen wird. Es werden Gebirge, deren Abdachungen sehr ungleich benetzt sind, auch in sehr verschiedenem Maße zertalt sein müssen. Wie sich mit dem Steigen der Niederschlagsmengen auch die Flußdichte erhöht, hat *Puls* an verschiedenen deutschen Landschaften zu ermitteln versucht.[2])

Daß es sich bei einem Zyklus nicht um ziffernmäßig ausdrückbare Zeiträume handeln kann, bedarf wohl kaum noch eines besonderen Hinweises. Je nach der Art der auftretenden Gesteine wird die Erniedrigung eines Landes rascher oder langsamer vor sich gehen, und außerdem fällt auch hier wieder dem Klima eine wichtige Rolle zu. Es wird z. B. in dieser Hinsicht nicht nur die Menge der Niederschläge, sondern auch ihre jahreszeitliche Verteilung nicht ohne Bedeutung sein können. Dies können uns in ausgezeichneter Weise die Mittelmeerländer veranschaulichen, in denen sich der Regen auf bestimmte Teile des Jahres konzentriert. Seine Dichte muß dabei viel größer als bei uns sein, da vielfach dieselben Jahresmengen geliefert werden, er fällt mit einer dem Mitteleuropäer gänzlich ungewohnten Intensität, und es kommt vor, daß bei einem Regenguß Wassermengen niedergehen, die ein Zehntel und mehr der gesamten jährlichen Summe erreichen. Die Folge davon ist, daß die Flüsse, die im Sommer in ihren Betten fast vertrocknen, dann plötzlich mächtig anschwellen und gewaltige Überschwemmungen hervorrufen. Bei der geringen

[1]) *Raschorn*, Die Flußdichte im Harz und in seinem nördlichen Vorlande. Diss. Halle 1911.

[2]) *Puls*, Vergleichende Untersuchungen über Flußdichte. Diss. Kiel 1910.

Pflanzenbekleidung vermag dann schon der Regen eine ungemein große abspülende Kraft zu entfalten, und die Geröll- und Schlammführung der Flüsse wird dementsprechend auch ungemein groß sein. Da nun ein periodisch anschwellender Fluß über eine sehr viel höhere Energie verfügt als ein anderer, der bei der gleichen Gesamtwasserführung nur geringe Veränderung erleidet, so wird die Abtragung derartiger Länder einen ungemein schnellen Verlauf nehmen. In dem Mittelmeergebiet spricht sich dies deutlich in dem raschen Zuwachs aus, den diese Länder durch die aufschüttende Tätigkeit ihrer Flüsse erfahren, schätzt doch *Fischer*, daß Italien allein auf diese Weise jährlich um $1—1^1/_2\,km^2$ vergrößert werde.[1])

Das eine ist sicher, daß zur Vollendung eines Zyklus in jedem Falle zum mindesten geologische Zeiträume erforderlich sind. Daß die einzelnen Stadien hinsichtlich ihrer Dauer einander nicht gleichwertig gegenüberstehen, ergibt sich ebenfalls aus den vorhergehenden Betrachtungen. Am kürzesten ist die Jugend, hier sind alle Prozesse in der lebhaftesten Bewegung und es spielt dabei die Höhenlage der Landmasse eine nur nebensächliche Rolle. Denn je höher ein Gebirge aufragt, um so mehr wird die Kraft der zerstörenden Vorgänge gesteigert, um so rascher also auch die Erniedrigung. Weit länger als die Jugend währt schon die Reife, da, wie wir sahen, dann die langsamer arbeitenden Prozesse einen ständig größeren Anteil an dem Vernichtungswerk nehmen, die mechanische Verwitterung zugunsten der chemischen zurücktritt, und das Altersstadium schließlich wird für menschliche Begriffe unendlich lange dauern. In diesen Verhältnissen findet wohl auch eine auf den ersten Blick recht auffallende Tatsache eine plausible Erklärung, daß nämlich hinsichtlich ihrer Verbreitung auf der Erde die reifen Formen unbedingt vorzuwalten scheinen, junge und alte verhältnismäßig selten anzutreffen sind. Die Jugend ist eben zu kurz, das Altersstadium dagegen zu lang: die Erdkruste wird im allgemeinen nicht lange genug im Ruhezustand verharren, um es zur Ausbildung alter Formen kommen zu lassen.[2])

Die *Davis*sche Terminologie der Formenbezeichnung ist nicht nach dem Alter der Formen, also nicht nach der Zeit, die zu ihrer Herausbildung nötig war, aufgebaut, denn ein noch junger Fluß kann, wenn er seine Arbeit in besonders hartem Gestein zu leisten gezwungen ist, zur Ausgestaltung seines jungen Tals sehr viel mehr Zeit in Anspruch genommen haben, als ein anderer, der in weichem Gestein fließt, der in der gleichen Zeit also bereits vielleicht ein reifes Stadium zu erzielen vermocht hat. Es soll vielmehr eben nur dieses Stadium, bis zu dem eine Form gelangt ist, bezeichnet werden, und so kann derselbe Fluß in seinem Mittellauf schon spätreif sein, während er es in seinem Unterlauf erst bis zur

[1]) *Fischer*, Das Klima der Mittelmeerländer und seine Folgewirkungen. Mittelmeerbilder, Neue Folge, Leipzig 1908, S. 291.

[2]) *S. Johnson*, Youth, Maturity and Old Age of Topographic Forms. Bull. Amer. Geogr. Soc., XXXVII, 1905, pag. 650.

frühen Reife gebracht hat. Ich vermag daher *Hettner* nicht beizustimmen[1]), wenn er der *Davis*schen Ausdrucksweise in dieser Beziehung Zweideutigkeit vorwirft, es ist ihm jedoch zuzugeben, daß man richtiger von jugendlichen und ältlichen Formen sprechen müßte. Wir werden nachher sehen, daß bei der Terminologie der Flüsse allerdings ein wirkliches Altersverhältnis zum Ausdruck gebracht werden soll. Dieselbe Empfindung wie *Hettner* hat auch *Supan* gehabt[2]), der in Vorschlag gebracht hat, die Bezeichnungen Jugend, Reife und Alter durch Unreife, Reife und Überreife zu ersetzen; durch sie wird in der Tat das Wesen der Termini besser gekennzeichnet.

Die Voraussetzungen, von denen unsere bisherigen Betrachtungen ausgegangen sind, Gleichmäßigkeit des Gesteinscharakters und stillstehende Landmasse, werden in der Natur nur selten erfüllt sein. Aber zur Klarlegung der Prinzipien des Zyklus war es praktisch, so einfache Verhältnisse anzunehmen, da man dann die komplizierteren Erscheinungen leicht erfassen kann. Wir wollen nunmehr zusehen, welche Modifikationen das Schema erleidet, wenn wir, wie dies eben im allgemeinen der Fall sein wird, von einer Landmasse ausgehen, in der Gesteine von verschiedenartiger Beschaffenheit, vor allem verschiedener Widerstandsfähigkeit gegenüber den Angriffen der Verwitterung und Erosion auftreten. Ehe wir dazu übergehen, möge jedoch eine kurze Darlegung derjenigen Gesteinscharaktere hier ihren Platz finden, die in morphologischer Hinsicht von Bedeutung sind und den Landschaftscharakter beeinflussen.

Morphologische Klassifikation der Gesteine. Man kann die Gesteine nach dem Vorgang der Geologen und Petrographen nach verschiedenen Gesichtspunkten einteilen: nach der Entstehung, der mineralogischen oder chemischen Zusammensetzung, den Absonderungsformen, der Struktur, dem Alter usw. Diese geologisch-petrographische Klassifikation ist jedoch für geographische Zwecke nicht brauchbar. Der Morphologe will den Einfluß der verschiedenen Gesteine auf die Oberflächengestaltung kennen lernen und dazu helfen ihm die oben genannten Einteilungsprinzipien nur wenig oder gar nicht. Es verhalten sich z. B. Gesteine ähnlicher Entstehung in ihren morphologischen Wirkungen oft völlig verschieden, umgekehrt solche verschiedener Genesis oder mineralogischer Zusammensetzung vielfach ganz gleich, wie etwa Sandstein und Kalk. Manchmal kann man allerdings bereits von weitem aus den Formen erkennen, welches Gestein vorliegt, aber es ist eben doch eine ziemlich weitgehende Formenkonvergenz vorhanden, die zu Fehlschlüssen Veranlassung geben kann. So wird Hessen von basaltischen Durchbrüchen überall förmlich durchlöchert, und man wird meist nicht fehl gehen, wenn man die sich unvermittelt und isoliert aus dem Gelände erhebenden stielför-

[1]) *Hettner*, Die Terminologie der Oberflächenformen. Geogr. Zeitschr., XVII, 1911, S. 142.

[2]) *Supan*, Grundzüge der physischen Erdkunde, 5. Aufl., Leipzig 1911, S. 470.

migen Gebilde auch ohne nähere Untersuchung für basaltisch anspricht. In der näheren Umgebung Gießens liegt jedoch ein Berg, der Dünsberg, der äußerlich genau so gestaltet ist wie seine benachbarten Basaltstümpfe, der aber aus paläozoischen Schiefern besteht. Eine Einteilung der Gesteine für morphologische Zwecke muß sich auf die für die Bodenplastik wichtigen Eigenschaften der Gesteine gründen, die eben nicht immer mit den geologisch bedeutungsvollen Eigenschaften zusammenzufallen brauchen. Der Anthropogeograph wird wiederum eine andere Einteilung nötig haben, ihn interessieren vor allem die Fruchtbarkeit und Festigkeit des Gesteins, also die Durchlässigkeit für Wasser und die chemische Zusammensetzung, für ihn gewinnen die lockeren Gesteinsarten, die Zerfall- und Zersetzungsprodukte eine besondere Wichtigkeit.

Eine derartige morphologische Klassifikation ist in systematischer Weise unseres Wissens zum ersten Male von *de Martonne* versucht worden[1]), die hier gegebene war in ihren Prinzipien bereits vor deren Erscheinen festgelegt; daß sie sich mit der von *de Martonne* in manchen Punkten berührt, liegt auf der Hand.

Die Einteilung der Gesteine für unsere Zwecke muß von den geographisch wichtigen Eigenschaften ausgehen, es müssen also diejenigen Eigenschaften ausgewählt werden, welche die die Erdkruste umgestaltenden Kräfte beeinflussen. Diese sind solche, die durch die chemische Zusammensetzung gegeben sind, also den Gesteinen als solchen zukommen, weiterhin spielen die Absonderungsformen und schließlich die architektonischen Eigenschaften eine Rolle.

Zunächst wird es für die morphologische Gestaltung einer Landschaft von großer Wichtigkeit sein, wie sich die Gesteine, die sie aufbauen, hinsichtlich ihrer Widerstandsfähigkeit verhalten. Die felsbildenden Mineralien schwanken in ihrem Härtegrad zwischen dem Quarz mit 7 und dem Gips mit 2. Diese Härte ist hier im absoluten Sinne zu verstehen, in morphologischer Beziehung handelt es sich aber stets nur um eine relative, nur um die Frage, wie das Härteverhältnis der einzelnen in einer Landschaft auftretenden Gesteine zueinander ist. Dieselben Schiefer können weich sein, wenn sie mit Quarzit vergesellschaftet sind, hart, wenn daneben etwa Gips lagert. Da also nicht die Härte des Gesteins in mineralogischer Bedeutung das Ausschlaggebende ist, so sollte man auch den Ausdruck Härte in der Morphologie lieber vermeiden und durch Widerstandsfähigkeit, nämlich gegenüber den einwirkenden Kräften, ersetzen. Nur ganz im allgemeinen kann man sagen, daß einige Gesteine eine große oder geringe Widerstandsfähigkeit besitzen. Am geringsten wird sie natürlich bei lockeren Massen, wie Sand, Torf, einem jungen Meeresboden und ähnlichen Bildungen sein. Da andrerseits der eben genannte Quarzit nur aus Quarz besteht, so wird er meist aus dem umgebenden Gestein herausgeschält und unter Umständen Mauern bilden, die sich ganz unvermittelt

[1]) *de Martonne,* Traité de géographie physique. Paris 1909, pag. 451 ff.

aus dem Gelände erheben. Es schwankt aber eben alles je nach der lokalen Ausbildungsweise eines Gesteins. Der Kalk setzt der mechanischen Erosion einen sehr hohen Widerstand entgegen, obwohl er im Wasser relativ leicht auflösbar ist, und so verraten z. B. die riffartigen Wände des Werratales am Ostfuß des Meißner deutlich ihre Zusammensetzung aus kalkigem Gestein; aber es kommt sehr darauf an, ob der Kalk rein, bituminös, tonig, oder kieselig ist, ob er eine homogene oder etwa oolithische Textur hat.

Ein paar allgemeine Regeln lassen sich immerhin aufstellen. Da die verwitternden Agentien eine sehr große Bedeutung für die Landskulptur besitzen, wird die Widerstandsfähigkeit zum Teil durch die Zersetzbarkeit, d. h. die auf chemischem Wege vor sich gehende Verwitterung bestimmt. Reine Sandsteine ohne tonige Beimengungen können z. B. nur mechanisch angegriffen werden und stellen der Abtragung meist einen ungemein kräftigen Widerstand entgegen. Über die Art und Weise, wie sich bei den wichtigsten Gesteinen der Verwitterungsvorgang gestaltet, kann man sich sehr gut im dritten Teile des *Merrill*schen Buches: Treatise on Rocks, Rock Weathering and Soils (2. Aufl., London 1905) orientieren.

Inhomogene Gesteine, vor allem auch solche von körniger Struktur, werden leichter zerstörbar sein als homogene, also z. B. die vulkanischen Gläser oder die Porphyre mit ihrer dichten Grundmasse, weil dann der Verwitterung bequemere Angriffspunkte geboten werden.

Eruptivmassen müßten im allgemeinen eine geringere Wetterfestigkeit haben als Sedimentgesteine, mit Ausnahme des Kalksteins, weil diese bereits vor ihrem Absatz eine mehrfache Umlagerung erfahren haben, nur noch Rückstände enthalten. Basische Eruptivgesteine wieder werden rascher verwittern müssen als saure, teils wegen ihrer chemischen Zusammensetzung, teils auch, weil jene meist von dunklerer Färbung sind und daher die Wärme in weit höherem Maße absorbieren. Bei krystalliner Struktur werden diejenigen Gesteinsmassen im Vorteil sein, die feinkörnig sind, eine geringe Granulosität besitzen, da die Ausdehnung und Zusammenziehung unter der Einwirkung der täglichen Temperaturschwankungen dann eine mindere Lockerung des Gefüges hervorruft. Die Laven verhalten sich sehr verschieden, bald wirken sie schützend für das von ihnen bedeckte Gestein, bald fallen sie sehr schnell der Vernichtung anheim. Wo sie im Verein mit den leicht zersetzbaren Tuffen auftreten, werden sie dagegen stets aus diesen herauspräpariert werden, wie man es vielfach am Ätna zu beobachten Gelegenheit hat oder wie es in besonders schöner Weise auf dem Gipfel des Puy de Sancy in der Auvergne zu sehen ist (Fig. 6).

Bei den krystallinen Schiefern ist für die Zersetzung der Gehalt an Feldspat maßgebend, weswegen der Gneis der Abtragung schlechter widersteht als z. B. die Tonschiefer oder Glimmerschiefer.

Die klastischen Gesteine zeigen ein sehr verschiedenartiges Verhalten je nach dem Grade ihrer Verfestigung, der chemischen Natur ihres Bindemittels und der Größe der sie zusammensetzenden Partikelchen: je feiner

diese sind, um so rascher wird das Gestein gelockert werden können. Daß auch fluviatile Schotter gelegentlich sich äußerst wetterfest erweisen können hat *Rich* an einigen Beispielen gezeigt.[1])

Es muß aber noch einmal nachdrücklich betont werden, daß sich, von ganz extremen Fällen abgesehen, die Verschiedenheit der Widerstandsfähigkeit nicht direkt messen läßt, etwa in der Weise, wie man die Härtegrade der Mineralien bestimmt, oder daß man bei der Bearbeitung mit dem geologischen Hammer derartige Unterschiede konstatieren könnte. Vielfach wird man nur aus den Formen Rückschlüsse zu ziehen vermögen.

Fig. 6.

Laven und Tuffe am Gipfel des Puy de Sancy, Auvergne.
(A. Rühl phot.)

Wenn man z. B. sieht, daß einzelne Teile einer Landschaft stärker abgetragen sind als andere, die unter sonst gleichen Bedingungen stehen, so darf man eben daraus für jene eine geringere Wetterfestigkeit ableiten. Dies gilt auch für ein und dieselbe Gesteinsmasse; nirgends wird die Zusammensetzung so gleichmäßig sein, daß nicht Partien von größerer Beständigkeit mit solchen von geringerer dauernd wechselten; aber auch hier versagt die Analyse meistens vollständig, auch hier können nur die Effekte uns Aufschluß geben.

[1]) *Rich*, Gravel as a resistent rock. Journ. of Geol., XIX, 1911, pag. 492.

Nächst der Widerstandsfähigkeit ist es von hoher morphologischer Bedeutung, ob ein Gestein das Wasser durchläßt oder nicht. Denn dies entscheidet darüber, ob das atmosphärische Wasser oberflächlich abfließt oder teilweise oder gar beinahe ganz in den Boden einsickert. Wie die meisten Körper sind auch alle Gesteine für Wasser durchdringbar und von einer völligen Undurchlässigkeit kann bei ihnen niemals die Rede sein. Aber einige, wie namentlich alle tonigen Gesteine, die Mergel, Tonschiefer, Schiefertone tränken sich an der Oberfläche sehr rasch, so daß dann keine weitere Möglichkeit zum Eindringen des Wassers gegeben ist. Das Regenwasser fließt also oberflächlich ab, sammelt sich zu einzelnen Fäden und schließlich zu Flüssen an, und so wird die ganze Oberfläche von Talfurchen zerschnitten sein können, vor allem dann, wenn die Vegetationsbedeckung nur spärlich ist. In solchen Gebieten, wie z. B. den nördlichen Apenninen, finden wir daher die Täler und kleinen Gießbäche in einem auf den ersten Anblick völlig regellos erscheinenden Gewirre entwickelt. Ganz anders werden sich die Verhältnisse im wasserdurchlassenden Gestein gestalten. Diese werden repräsentiert durch die Sandsteine, Sande und die Konglomerate im weitesten Sinne, also die Schotter, Breccien etc. Hierbei ist allerdings bei den stärker verfestigten Bildungen nicht nur das sie zusammensetzende Bindemittel von Bedeutung, sondern auch vor allem die Größe der einzelnen Körnchen. Hier wird das Wasser zum größten Teil vom Boden verschluckt, für die oberflächliche Abspülung bleibt nur ein geringer Prozentsatz übrig, und man braucht, um sich den gewaltigen Einfluß dieser Tatsache vor Augen zu führen, nur an eine so bekannte Landschaft wie die sächsische Schweiz zu denken und sie etwa mit dem Erzgebirge oder dem Thüringer Wald in Vergleich zu stellen. Dort fallen die Talwände in fast senkrechtem Absturz nieder, zeigen nicht die sanft geschwungenen Linien des sonstigen deutschen Mittelgebirges, erinnern vielmehr sehr lebhaft an die Täler der Trockengebiete, wie z. B. der tiefen Cañons von Palästina. Weil eben in derartig aufgebauten Gebieten die Abtragung der Gehänge nur langsam erfolgen kann, so heben sie sich immer mehr und mehr aus der umgebenden Landschaft heraus, wie der 1200 *m* hoch aufragende gewaltige Felsklotz des Montserrat in Katalonien oder der ebenfalls ganz aus Konglomeraten bestehende Bucsecs in den transsylvanischen Alpen. Nach dem Grade der Wasserdurchlässigkeit richtet sich dann noch die Zahl der Täler überhaupt. Karten, welche die Permeabilität der Gesteine zur Anschauung bringen, lassen dies in sehr auffälliger Weise erkennen. *Regelmanns* Wasserdurchlässigkeitskarte von Süddeutschland macht diese Einflüsse sehr klar zutage treten: in dem Keuperland und im krystallinen Schwarzwald ist die Taldichte eine sehr hohe, während im benachbarten Muschelkalk des Jura nur ganz wenige Täler ausgebildet sind. Auch auf der Carta idrografica d'Italia kann man diese Beziehungen vorzüglich studieren.

Im undurchlässigen Gestein kann es vorkommen, daß die ganze Landschaft von Tälern zerschnitten ist, im durchlässigen werden breite

Flächen zwischen den einzelnen Tälern unzertalt bleiben und unter Umständen weit ausgedehnte Tafeln bilden können. Der in Deutschland so weit verbreitete Buntsandstein ist in dieser Beziehung in seinen einzelnen Horizonten sehr verschiedenartig ausgebildet, bald fehlt das Bindemittel gänzlich, so daß die Quarzpartikelchen direkt aneinander stoßen — und dies ist für die innere Zirkulation des Wassers natürlich der günstigste Fall —, bald haben wir ein kieseliges, gelegentlich aber auch ein toniges Bindemittel, und dann wird das Gestein nahezu impermeabel sein.

Meist sind die soeben genannten Gesteine auch noch durch eine große Klüftigkeit ausgezeichnet, d. h. sie sind von Spaltensystemen durchzogen, die naturgemäß Flächen der Schwäche sind. Auf ihnen findet das Wasser einen verhältnismäßig bequemen Zugang zur Tiefe, und auch die Pflanzenwurzeln, die ja gleichfalls an der Zerstörung des Gesteins arbeiten, vermögen sich hier leicht festzusetzen und nach unten zu wachsen. Auf diese Weise wird die Wasserdurchlässigkeit eines Gesteins wesentlich erhöht, manches an sich vielleicht sehr wenig durchlassende stark permeabel, wie z. B. der Granit: diese Eigenschaft bewirkt, daß man ihn zur Klasse der durchlässigen Gesteine rechnen muß. Ähnlich steht es mit dem Basalt, wenn er sich säulenförmig absondert. Anordnung und Größe der Kluftflächen bestimmt bis zu einem gewissen Grade die Form und Größe der Gesteinstrümmer, aber auch die fluviatile Erosion wird gelegentlich in recht auffälliger Weise durch sie beeinflußt. Da das Wasser an ihnen am raschesten zerstörend eingreifen kann, so wird der dicht über dem Spiegel des Flusses liegende Teil des Gehänges überall, wo eine Kluftfläche vorhanden ist, einen einspringenden Winkel zeigen.[1]) Aber sogar die Anlage und Gestalt ganzer Flußsysteme wird unter Umständen durch die Kluftsysteme bestimmt, besonders in Gebieten, in denen die Bodendecke gering ist. Solche Beziehungen sind z. B. nach *Russel* im Big Bend Country im Staate Washington deutlich erkennbar[2]) und *Hobbs* beschreibt derartiges aus Süd-West-Wisconsin.[3]) Hier fällt die Richtung der Flußläufe auf einer Fläche von etwa 7000 Quadratmeilen ziemlich genau mit der der Klüfte zusammen, ein zufälliges Zusammentreffen erscheint ausgeschlossen, was auch noch dadurch angezeigt wird, daß an jenen Stellen, wo eine Kluftlinie von einer anderen gekreuzt wird, die Flüsse häufig scharfe Knicke bilden. Wie *Lind* zu zeigen versucht hat[4]), wird auch das Gewässernetz der Umgegend von Heidelberg durch die Ausbildung von Klüften beherrscht, unter denen zwei aufeinander senkrecht stehende Richtungen vorwalten,

[1]) Siehe die Abbildungen bei *Chamberlin* and *Salisbury*, Geology. New York 1905, I, pag. 152.

[2]) *Russell*, River Development. London 1909, pag. 280.

[3]) *Hobbs*, Examples of joint-controlled drainage from Wisconsin and New York. Journ. of Geol., XIII, 1905, pag. 363.

[4]) *Lind*, Geologische Untersuchungen der Beziehungen zwischen den Gesteinsspalten, der Tektonik und dem hydrographischen Netz des Gebirges bei Heidelberg. Diss. Heidelberg 1910. Auch in: Verhandl. d. naturhist.-med. Ver. zu Heidelberg, N. F., XI, 1910, S. 7.

durch die der auffällige Parallelismus vieler Odenwaldtäler und das so häufig bei ihnen zu sehende rechtwinklige Umbiegen eine Erklärung finden soll.

Tritt nun endlich noch die Löslichkeit hinzu, so gelten die allgemeinen Erosionsgesetze überhaupt nur noch in geringem Grade, und es nehmen ganz andere Gesetze ihre Stelle ein. Die Eigenart der dann entstehenden Formen drückt der ganzen Landschaft ihren besonderen Stempel auf. Das an Verbreitung wichtigste hierher gehörige Gestein ist der Kalk in seinen verschiedenen Varietäten. Er ist zwar als solcher ein undurchlässiges Gestein, setzt auch der mechanischen Erosion einen sehr großen Widerstand entgegen, aber er ist in hohem Maße im Wasser löslich und dadurch wird er immens wasserdurchlässig. Dazu kommt, daß er stark von Klüften durchsetzt ist, und wenn nun das Wasser auf diesen Klüften in die Tiefe sinkt, so vermag es auf seinem Wege nicht nur mechanisch die Spalten zu erweitern, sondern auch durch Lösung auszudehnen. Ob der Dolomit hierher zu rechnen ist, ist eine noch unentschiedene Frage: er verhält sich in einigen Gegenden durchlässig, in anderen undurchlässig, aus Gründen, die bisher noch nicht haben festgestellt werden können. Dagegen verfallen Gips, Anhydrit und Steinsalz noch leichter der Auflösung anheim als der Kalk, aber ihre Verbreitung an der Erdoberfläche ist eine sehr geringe und daher ihre morphologische Bedeutung ebenfalls unbeträchtlich. Das klassische europäische Land des Kalksteins ist Dalmatien, wo denn auch die ihm eigentümlichen Formen absolut charaktergebend, auch zuerst genauer studiert worden sind: solche auffälligen Züge sind z. B. die kesselförmigen Vertiefungen im Boden ohne oberirdischen Abfluß, Trockentäler, glatte Gehänge ohne jede Spur von Erosionsrinnen, überhaupt die geringe Zertalung, denn da der Boden fast alles Wasser aufnimmt, können sich nur unter besonderen Bedingungen, auf die hier nicht näher eingegangen werden kann, Flüsse durchsetzen. In ganz besonders schöner Weise wird der Gegensatz der Formen im undurchlässigen und löslichen Gestein durch den Apennin veranschaulicht, dessen nördlicher Teil vorwiegend aus Tongesteinen aufgebaut ist, während, je weiter man nach Süden gelangt, Kalke in immer größerer Ausdehnung an ihre Stelle treten und damit der ganzen Landschaft und der Kultur der Bewohner ein völlig andersartiges Gepräge verleihen. Steil und prall steigen die Kalkmassive aus dem sie umhüllenden, flachen tonigen Gelände, oft wie Inseln aus dem Meere auf, so daß man häufig schon aus weiter Ferne imstande ist, die Gesteinszusammensetzung der Gebirge zu erkennen (Fig. 7).

Eine Verschiedenheit der Formen wird endlich dadurch hervorgerufen werden können, daß manche Gesteine, als Ganzes betrachtet, homogen sind, andere aus einzelnen Schichten bestehen, die von ganz verschiedener Zusammensetzung sein können. In diesem Sinne hat die geologische Einteilung der Gesteine in Eruptiv- und Sedimentgesteine auch eine geographische Bedeutung. Werden jene von den atmosphärischen Agentien an-

gegriffen, so sind keine Gesteinspartien bei diesem Kampfe im Vorteil vor anderen, und die Zerstörung wird daher im allgemeinen an allen Punkten mit gleicher Schnelligkeit vorschreiten können; diese dagegen setzen sich aus Schichten von verschiedener Widerstandsfähigkeit zusammen, und es wird die Abtragung eine Auswahl vornehmen können, die leichter zerstörbaren rascher erniedrigen als die härteren, wozu noch kommt, daß sie in den Schichtfugen eine Achillesferse besitzen, da sie in gleicher Weise wie die Kluftflächen Schwächezonen sind. Dickbankige, horizontal lagernde Schichtgesteine werden wieder im Prinzip schneller der

Fig. 7

Die Meta-Kette, ein Kalkzug am Oberlauf des Sangro, Abruzzen. Im Vordergrund undurchlässige, tonige, wenig widerstandsfähige Schichten.
(A. Rühl phot.)

Vernichtung entgegengebracht werden können als dünnbankige, weil dann die Zahl dieser Schichtfugen weit größer ist.

Das verschiedene Verhalten von Eruptivmassen und Sedimentärgesteinen wird dann besonders deutlich, wenn diese ihre ursprüngliche horizontale Lagerungsform verloren haben, wie sie der Absatz aus Wasser oder Luft mit sich bringt, wenn also tektonische Kräfte auf sie eingewirkt haben; denn nur in ganz seltenen Fällen kommt es dazu, daß die Schichten bereits mit beträchtlicher Neigung zur Ablagerung gelangen. Liegen Sedimentgesteine flach oder nur ganz wenig geneigt, so bieten sie der Zerstörung ja auch eine gleichmäßig ausgebildete Fläche dar, und daher rührt

es, daß so gestaltete Gebiete, wie z. B. manche Teile des deutschen Mittelgebirges, einen ziemlich einförmigen Formencharakter aufweisen. Erst dann, wenn sie durch Täler tief zerschnitten sind, treten an deren Wänden die verschieden gearteten Schichten heraus, und die Talgehänge werden dann keine gleichmäßigen Böschungen aufweisen können. Ganz anders gestalten sich jedoch die Verhältnisse, wenn die Schichten steil aufgerichtet oder gefaltet sind. Dann kommen die Schichtköpfe an die Oberfläche mit ihrem beständigen Wechsel der Zusammensetzung, wie er durch die schwankenden Bedingungen der Sedimentierung erzeugt wird, und dann vollzieht sich jene Selektion in der Abtragung, von der soeben gesprochen wurde. Auch trifft dann das fließende Wasser bei seiner in die Tiefe gerichteten Arbeit auf eine weit größere Anzahl von Schichtflächen, wodurch ihm seine Arbeit nicht unwesentlich erleichtert wird. So erklärt sich das ungemein wechselnde Relief von Landmassen, deren innere Struktur stark gestört ist, so der landschaftliche Gegensatz der Formen in den aus fast horizontalen, ungefalteten Sandsteinen aufgebauten mitteldeutschen Becken und den gewaltig zusammengepreßten alten Schollen: dort große, mehr oder weniger ausgedehnte flache Tafeln oder langgestreckte ebenflächige Rücken, hier eine Auflösung in anscheinend regellos angeordnete Spitzen, Kuppen oder langgedehnte schmale Züge.

Fig. 8.

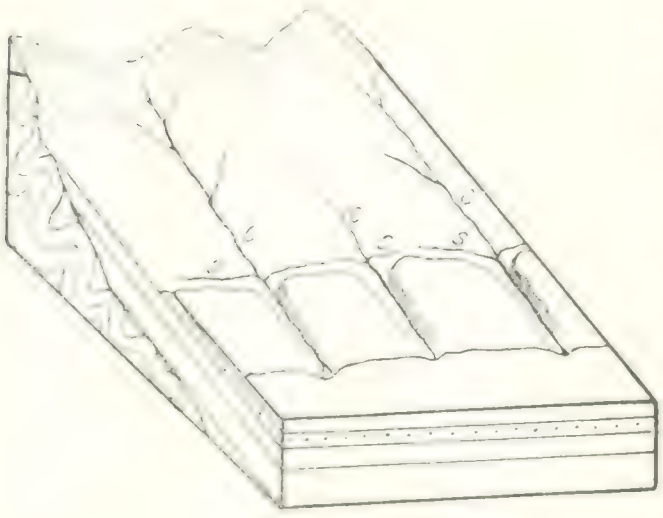


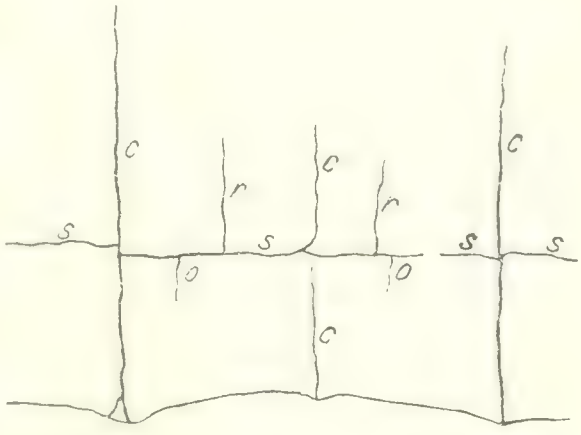
Diagramm einer aus verschiedenen Schichten auf-
[illegible] c kon-
[illegible]

Es mag schon an dieser Stelle bemerkt werden, daß alle diese morphologisch wichtigen Eigenschaften der Gesteine während der allmählichen Entwicklung einer Landschaft nicht immer dieselbe Rolle spielen, indem in gewissen Perioden die einen vorwiegend charaktergebend sind, während in anderen andere den Ausschlag geben.

Nunmehr können wir dazu übergehen, zu untersuchen, wie sich die Entwicklung einer Landmasse vollziehen wird, in der verschiedenartige Gesteine an die Oberfläche treten. Als Ausgangspunkt wählen wir eine tektonische Form, die *Davis* immer für diese Zwecke empfiehlt, weil sie in der Tat verhältnismäßig einfache und leicht zu übersehende Folgerungen aufweist, nämlich eine junge Küstenebene (Fig. 8), d. h. ein Stück Meeresboden, das durch eine Hebung dem Festlandskörper hinzugefügt wurde und damit der Zerstörung durch die subaerilen Kräfte anheimfällt. Es soll nun dabei die Voraussetzung gemacht werden, daß

Schichten von verschiedener Widerstandsfähigkeit miteinander abwechseln. Dann werden sich zunächst Flüsse entwickeln, die der allgemeinen Abdachung nach dem Meere hin folgen, demnach in unserer Terminologie als konsequent zu bezeichnen sind. Sie schneiden Täler ein, aber das Rückschreiten der Tiefenerosion kann jetzt nicht mehr kontinuierlich nach oben hin erfolgen, da ja Stücke vorhanden sind, in denen der Fluß wegen des größeren Widerstandes, auf den er stößt, mehr Arbeit zu leisten hat als in anderen. Das Bett des Flusses wird daher an einzelnen Stellen bereits ausgeglichen sein können, während es an anderen noch nicht dahin gekommen ist. Dort wird er Wasserfälle oder Stromschnellen bilden, und das Längsprofil des Flusses wird in einzelne Abschnitte zerlegt. In den weicheren Partien wird das Tal so tief ausgegraben, wie es die nächste unterhalb auftretende Schicht erlaubt, denn diese muß eine lokale Erosionsbasis herstellen. Erst wenn alle Wasserfälle und Stromschnellen abgetragen sind, wird die Gleichgewichtskurve für den ganzen Fluß erreicht sein und damit denn auch der Eintritt in das Stadium der Reife. Befindet sich aus irgend einer Ursache ein Stück des Flußlaufes unter dem Gleichgewichtsprofil und ist die zugeführte Schuttmenge so groß, daß der Fluß sie nicht zu bewältigen vermag, so muß er aufschütten, und zwar so lange, bis er sein Bett in das Niveau des Gleichgewichtsprofils gebracht hat; er hat dann den Ausgleich nicht durch Einschneiden, sondern durch Aufschüttung gewonnen. Was von dem Talboden des Flusses gilt, wird auch bei den Gehängen der Fall sein müssen, auch sie werden zu verschiedenen Zeiten in den Ausgleichszustand eintreten müssen; die Bänke härteren Gesteins werden noch Aufschlüsse zeigen, wenn diese an den weicheren bereits längst entfernt sind.

Fig. 9.

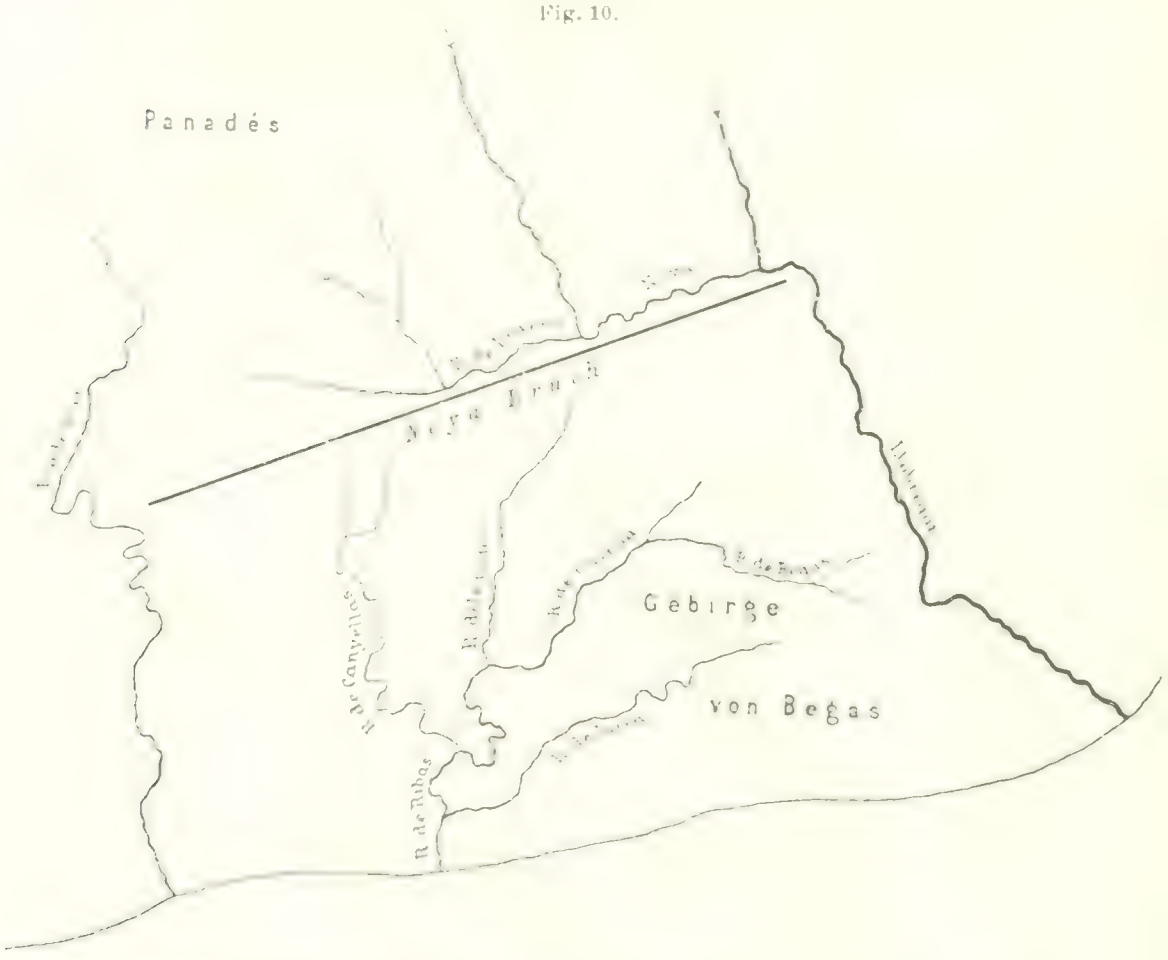



Anzapfungen in einer Küstenebene. *c* konsequente, *s* subsequente, *o* obsequente, *r* resequente Flüsse.

Vor allem wird aber nunmehr die Entwässerungsanordnung des ganzen Gebietes eine durchgreifende Änderung erfahren (Fig. 9). In dem früher ins Auge gefaßten Falle hatten wir einige konsequente Flüsse, deren Nebenflüsse sich an beliebiger Stelle entwickeln konnten und daher „unbestimmt—konsequent" waren. Jetzt ist aber durch die wechselnde Widerstandsfähigkeit der Gesteinsmassen ein Moment gegeben, daß die Entwässerungslinien in bestimmte Bahnen lenkt, von anderen fernhält, denn die Zerstörung wird naturgemäß die weicheren Schichten zuerst in Angriff nehmen. Es entwickeln sich also, wenn wir eine zonale Aufeinanderfolge der verschiedenen Gesteinspartien annehmen.

die seitlichen Zuflüsse an den weichen Streifen. Sie sind nicht mehr durch die ursprünglichen Abdachungsverhältnisse bedingt und werden daher subsequente genannt. Sie können sich nun ungleich rascher eintiefen als die konsequenten Hauptflüsse und werden diesen bald in der Entwicklung nachgekommen sein, d. h. sie werden sich sehr rasch rückwärts verlängern und damit dem benachbarten konsequenten ins Gehege kommen. Haben sie dessen Tal erreicht, so zapfen sie sein Wasser ab und führen sich selbst sein Quellwasser zu; der konsequente Fluß wird seiner Quellflüsse beraubt oder, wie man sagt, enthauptet. Dies wird sich bei ungestörter weiterer

Fig. 10.




Entwässerungsanordnung im Gebirge von Begas, Provinz Barcelona. 1 : 500.000.
(Zeitschr. d. Ges. f. Erdkunde, Berlin 1909, S. 246.)

Entwicklung noch mehrfach wiederholen können, so daß schließlich die subsequenten Flüsse die konsequenten an Länge weit übertreffen können und die Entwässerung vorwiegend durch jene erfolgt. Derartige Anzapfungen haben sich in der Geschichte wohl jedes Flußsystems vollzogen, wie auch die Urformen gestaltet gewesen sein mögen, da eben überall Verschiedenheiten der Gesteinsbeschaffenheit anzutreffen sein werden. Sehr hübsch lassen diese Dinge z. B. gewisse Flüsse Kataloniens erkennen (Fig. 10). Der Hauptfluß des auf der Kartenskizze dargestellten Gebietes ist der Llobregat. Ursprünglich war eine ganze Reihe von kleineren Flüssen vorhanden, die ungefähr parallel zum Llobregat verliefen. Dadurch daß dieser aber ver-

möge seiner größeren Wassermengen sich weit rascher einzutiefen vermochte und auch seinen westlichen Zufluß, die Noya, damit tiefer legte, konnte sich dieser schnell nach Westen hin rückwärts verlängern. Dabei traf er zuerst auf die Riera dels Codols, er enthauptete sie und ihr Oberlauf bildete dann den Oberlauf der Noya. Beim weiteren Rückwärtsschreiten wurde dann die Riera de Canyellas erfaßt und ebenfalls zur Noya hingelenkt, und es kann keinem Zweifel unterliegen, daß den Rio de Foix in nicht allzu ferner Zeit ein ähnliches Geschick ereilen wird. Die frühere Anordnung spricht sich noch jetzt klar darin aus, daß die von Norden her kommenden Zuflüsse der Noya genau dieselbe Richtung einschlagen wie die enthaupteten Flüsse, und daß diese in verhältnismäßig weiten Tälern dahinziehen, die nicht mehr zu ihrer geringen Wasserführung passen.

An den Seiten des subsequenten Tales streichen an der einen Seite harte, an der anderen weiche Schichten aus, die Täler werden also zunächst nicht symmetrisch gebaut sein können. An der einen Seite erhebt sich das Gelände in steilem Anstieg, und es kommt zur Ausbildung einer sogenannten Landstufe oder Cuesta, während an der gegenüberliegenden Seite eine sanfte Abdachung hergestellt wird. Auf dem Steilabhang werden sich auch bald Flußläufe entwickeln müssen, die, weil sie der Richtung der allgemeinen Abdachung entgegen verlaufen, obsequent genannt werden. Die Nebenflüsse der subsequenten, die den konsequenten parallel fließen, sind nicht eigentlich konsequent, da sie erst entstehen konnten, als die subsequenten bereits vorhanden waren; sie heißen daher resequent. Gegen diese Bezeichnungen ist geltend gemacht worden, daß sie sprachlich falsch seien, indem diesen Namen eine ganz andere Bedeutung unterlegt wird, als sie im Lateinischen besitzen.[1]) Sie haben aber den großen Vorteil, daß sie kurz sind und untereinander in Beziehung stehen, wie es auch die Gegenstände sind, denen sie einen Namen geben; hat man sich überhaupt mit den Verhältnissen vertraut gemacht, um die es sich hier handelt, so sind die Ausdrücke doch so gewählt, daß man sogleich bei jedem einzelnen fühlen wird, welche Art von Flüssen gemeint ist.

Die Entwicklung geht in unserem Beispiel, wie wir sahen, so vor sich, daß die Abtragung eine Auswahl vornimmt, sich mehr an die weichen Gesteine hält und die harten meidet. Es findet demnach eine allmähliche Anpassung des gesamten Entwässerungsnetzes an die innere Struktur statt, die konsequenten Flüsse verlieren in beständig zunehmendem Maße an Bedeutung, die subsequenten, obsequenten und resequenten erhalten mehr und mehr das Übergewicht. In der Jugend haben noch die konsequenten die Oberhand, und es ist gerade diese wachsende Anpassung charakteristisch für die Reifezeit. Jetzt werden auch nicht mehr jene Teile der Landmasse am höchsten aufragen, die bei der Herausbildung der Urformen

[1]) Siehe die Auseinandersetzungen von *Krümmel, Davis* und *Fischer* im Geogr. Anz., XI, 1910, S. 10, 121, 196.

am meisten gehoben wurden, die größte Urhöhe innehatten, sondern vielmehr jene, an deren Aufbau sich die widerstandsfähigsten Gesteinsmassen beteiligen: sie werden die Wasserscheiden bilden. Die härteren Partien werden als Rücken herauspräpariert, die weicheren werden als mehr oder weniger breite Tiefländer erscheinen.

Die Flüsse folgen dem Streichen der Schichten, wenn diese zonar angeordnet sind, und wenn sie dies aus irgend einem Grunde nicht können, so fließen sie im rechten Winkel dazu.[1]) Dieses Gesetz der Anpassung hat selbstverständlich allgemeine Gültigkeit, wie auch die Lagerung der Schichten sein möge. Aber es können auch andere Ursachen auf die Entwässerung bestimmend einwirken, und daher gibt es den Sinn von „subsequent" nicht richtig wieder, wenn man es mit „schichtsinnig" übersetzt.

Es ist nun noch ein weiterer Punkt kennzeichnend für das Reifestadium, daß nämlich die Ausbreitung des Gewässernetzes ihren Höchststand erreicht und kein Stück der Landoberfläche unzerschnitten ist. Hier ergibt sich allerdings eine Schwierigkeit in der Terminologie. Es ist nicht nötig, daß die Flüsse und das ganze Gelände in ihrer Entwicklung einander parallel laufen, ein solches genaues Zusammentreffen ist im Gegenteil recht unwahrscheinlich. Wir haben einen Fluß als reif bezeichnet, wenn sein Lauf ausgeglichen ist und eine Talsohle sich auszudehnen beginnt. Aber eine Küstenebene oder, allgemeiner gesagt, überhaupt eine Landmasse zeigt dann eine reife Oberflächengestaltung, wenn die Talentwicklung einen solchen Grad angenommen hat, daß die ganze Fläche in einzelne Täler und Rücken aufgelöst ist (Fig. 11), noch jung wird sie sein, wenn zwischen den einzelnen Tälern noch Reste der alten Fläche vorhanden sind. Das windungsreiche untere Moseltal steht gerade auf dem Übergang zwischen Jugend und Reifezeit, die Hochfläche, in die es eingeschnitten ist, ist durch die gleichfalls jugendlichen Seitentäler erst sehr wenig zertalt worden: hier fällt also Jugend der Landschaft mit Jugend der Flüsse zusammen. Es wird aber ebenso leicht der Fall eintreten können, daß ein Plateau von einem dichten Flußnetz überzogen ist, das sich überall hin erstreckt, daß jedoch diese Flüsse selbst noch alle Züge der Jugend an sich tragen: dann hätten wir demnach ein reifes Hochland mit jungen Flüssen vor uns. Es würde ein völlig falsches Bild entworfen, wenn man ein solches Gebiet als jung oder als reif charakterisierte; man muß in derartigen Fällen beide Formen voneinander trennen und von jeder gesondert das Entwicklungsstadium angeben. Es ist dies im Prinzip ganz dasselbe Verhältnis, das wir bereits bei den Flüssen und ihren Talgehängen kennen gelernt haben, auch damals brauchten beide nicht gleichzeitig in dasselbe Entwicklungsstadium zu gelangen. Bei einer wirklich exakten Beschreibung wird man demnach, wenn für alles zusammen nur ein Stadium

[1]) Siehe z. B. die Darstellung der allmählichen Anpassung des Lookout Mountaingebietes bei *Hayes*, Report on the geology of northeastern Alabama. Bull. Alabama Geol. Surv., IV, 1892, pag. 23 ff.

angegeben ist, auch den Schluß ziehen müssen, daß es sich um ein Gebiet handelt, in dem sowohl die Flüsse wie ihre Talwände und die Oberfläche sich in dem gleichen Zustand befinden. Es mag aber hier schon vorweg genommen werden, daß wir bei dem Beispiel des Moseltales noch einer zweiten Schwierigkeit begegnen: die Hochfläche, in welche dieses Tal eingesenkt ist, ist nämlich nicht wie die von uns herangezogene Küstenebene eine junge, sondern vielmehr eine alte Landform. Nur in dem gegenwärtigen Zyklus ist sie als jung zu betrachten, da in einem früheren die Urform sich bereits in eine Endform verwandelt hatte.

Fig. 11.

Reife Landschaft auf Elba, westlich von Portoferraio.
(A. Rühl phot.)

Die Formen der Reife vergehen nun auch. Die Tiefländer werden immer breiter und breiter, die sie trennenden Rücken verlieren an Höhe und Umfang. In jenen weiten ebenen Flächen ziehen die Flüsse wegen des verminderten Gefälles träge und ohne starke Strömung dahin. So geht die ganze Landschaft schließlich in eine beinahe reliefiose Fläche über, aus der nur noch die härtesten Teile als flache Rücken aufragen, aber mit ganz sanftem, kaum merklichen Anstieg. Wir gelangen also auf diesem Wege wiederum zu einer Oberfläche, die sich mit minimalem Gefälle gegen das Meer hin senkt, zu der Fastebene oder Peneplain. Für diese ist es besonders charakteristisch, daß sie keinerlei Beziehungen zu der ursprünglichen Struktur hat, sondern über alle Teile gleichmäßig

hinwegzieht und nur besonders widerstandsfähige Stücke sich erheben läßt. Als solche werden häufig, worauf *Russell*[1]) aufmerksam gemacht hat, gerade die stark wasserdurchlässigen Gesteine, vor allem Kalksteine, fungieren können, da in diesen die oberflächliche Abtragung nur geringe Fortschritte machen kann. Alle diese an härteres Gestein gebundenen Aufragungen hat *Davis* nach einem Berg in New Hamshire, der dieser Ursache seine Erhebung über das umgebende Gelände verdanken soll Monadnocks genannt. Die Zahl, Höhe und Ausdehnung der Monadnocks wird bei gleicher ursprünglicher Verteilung der Gesteinsmassen in der Nähe des Meeres geringer sein als weiter im Innern des Landes. Auch hiermit ist er auf Widerspruch gestoßen: der Name sei von einem einzelnen Vorkommnis hergenommen, indianischen Ursprungs, und würde sich wohl niemals recht einbürgern lassen; auch könne man sich nichts dabei denken, hat *Hettner* gemeint.[2]) Aber nicht anders steht es doch im Prinzip mit dem Worte „Mäander", und ähnliche Fälle ließen sich aus der Geschichte aller Naturwissenschaften anführen, die zeigen, daß derartige Namen recht wohl in den allgemeinen Gebrauch gelangen können. Eine geologische Formation wird als „Perm" bezeichnet nach der russischen Stadt gleichen Namens, die Prähistoriker sprechen von „Hallstatt" und „La Tène" nach den Fundpunkten in Tirol und in der Schweiz. Will man durchaus einen deutschen Namen haben, so ist der neuerdings von *Spethmann*[3]) vorgeschlagene Name „Härtling" recht gut und brauchbar, es sind hier nur die allgemeinen Bedenken geltend zu machen, die schon früher gegen eine Verdeutschung erhoben wurden. Es muß noch erwähnt werden, daß kürzlich ein amerikanischer Geologe den Mount Monadnock einer genauen petrographischen Untersuchung unterzogen hat und zu dem Ergebnis gekommen ist, daß eine Verschiedenheit des ihn zusammensetzenden Gesteins gegenüber seiner Umgebung nicht konstatiert werden kann[4]), während allerdings *Daly* am benachbarten Mount Ascutney, der gleichfalls ein Monadnock sein sollte, eine größere Härte in der Tat feststellte.[5]) Wenn dem wirklich so ist, täte man allerdings besser, die Bezeichnung „Monadnock" ganz fallen zu lassen; der Syenit z. B. hat allerdings seinen Namen behalten, auch nachdem sich herausgestellt hat, daß das bei Syene auftretende Gestein gar nicht jene Eigenschaften besitzt, die in dem Begriff enthalten sind.

*Hayes*[6]) will den Monadnocks noch eine besondere Klasse von Restbergen gegenüberstellen, nämlich solche, die einen großen Umfang besitzen

[1]) *Russell*, The influence of caverns on topography. Science, N. Ser., XXI, 1905, pag. 30.

[2]) *Hettner*, Die Terminologie der Oberflächenformen. Geogr. Zeitschr., XVII, 1911, S. 139.

[3]) *Spethmann*, Härtling für Monadnock. Zentralbl. f. Mineralogie, 1908, S. 746.

[4]) *Perry*, Geology of Monadnock Mountain, New Hamshire. Journ. of Geol., XII, 1904, pag. 1—14.

[5]) *Daly*, The peneplain. Amer. Naturalist, XXXIII, 1899, pag. 136.

[6]) *Hayes*, Physiography of the Chattanooga District in Tennessee, Georgia and Alabama. Ann. Rep. U. S. Geol. Survey, XIX, 1899, Bd. II, pag. 22

und sich aus einer Fläche erheben, die noch nicht vollständig in das Stadium der Peneplain eingetreten ist. Er tauft sie Unakas nach den Unaka Mountains in Nord-Carolina und West-Tennessee, die den Typus einer derartigen Landschaft repräsentieren sollen. Eine scharfe Grenze zwischen ihnen und den Monadnocks läßt sich natürlich nicht ziehen. Es kann vorkommen, daß eine Peneplain wieder von anderen Sedimenten marinen oder festländischen Ursprungs bedeckt wird und dann von neuem der Abtragung anheimfällt, so daß die Monadnocks wiederum herausgeschält werden: für Monadnocks dieser Art hat *Mansfield* [1]) die Bezeichnung „Baraboo" in Vorschlag gebracht, da in den Baraboo Ridges in Wisconsin diese Verhältnisse vorliegen sollen.

Die Peneplain ist eine Theorie, und seitdem *Davis* diesen Begriff aufgestellt hat, hat auch die Diskussion über die Frage, ob die Ausbildung solcher Formen denn wirklich möglich ist, niemals geruht. Die Idee stammt allerdings nicht von *Davis*, denn mit der subaerilen Einebnung waren schon vor ihm manche amerikanische Geologen vertraut, aber *Davis* hat dem Kinde einen Namen gegeben und es sehr weit bekannt gemacht. Es handelt sich hier um ein Streitobjekt von äußerster Wichtigkeit, denn mit der Peneplain steht und fällt eigentlich die ganze Methode: sie bildet ja den Schlußstein, ohne den das Gebäude doch allzu unvollständig wäre. Man hat früher vor allem auf den einen Punkt hingewiesen, daß die Abtragung auf dem Lande niemals flächenhaft, sondern nur linear wirken könne, daß also wirklich ebene Flächen durch die Erosion nicht zustande kommen könnten. Hierbei hat man aber vergessen, daß mit dem weiteren Fortschreiten des Zyklus die mehr lineare Erosionstätigkeit der Flüsse zugunsten wirklich flächenhaft arbeitender Vorgänge zurücktritt. Wir sind allerdings über die unter der Einwirkung des Schuttkriechens vor sich gehende Abtragung der Gehänge immer noch nicht genügend orientiert — namentlich auch hinsichtlich der Verschiedenheiten, wie sie durch klimatische Unterschiede erzeugt werden —, aber die auf diese Weise zustande kommenden Effekte sind sicherlich früher stark unterschätzt worden. *Löwl* hat z. B. einmal die Meinung ausgesprochen [2]), daß moor- und waldbedeckte Gebirge in unserem Klima, also etwa die deutschen Mittelgebirge eben durch diese Überkleidung vor weiterer Erniedrigung geschützt seien, weil die Regenspülung hier nichts mehr ausrichten könne. Diese wird in der Tat auf flachem, vor allem vegetationsbedeckten Gehänge still gestellt, nicht aber das Abkriechen des Bodens.

Der amerikanische Geologe *Tarr* hat eine Fülle von Argumenten zusammengestellt, die seiner Meinung nach die Entstehung von subaeril gebildeten Peneplains widerstreiten. [3]) Nach ihm lassen sich die Formen in sehr viel einfacherer Weise durch eine bis zur Reife vorgeschrittene

[1]) *Mansfield*, The Baraboo Region of Wisconsin. Journ. of Geogr., VI, 1908, pag. 286.

[2]) *Löwl*, Geologie. Leipzig 1906, S. 279.

[3]) *Tarr*, The peneplain. Amer. Geologist, XXI, 1898, pag. 351.

Erniedrigung der Landmassen erklären, und seine Auffassung hat sich mit geringen Modifikationen auch *Tangier Smith* zu eigen gemacht.[1]) Dieser gibt zwar die theoretische Möglichkeit zu, glaubt jedoch, daß nur in sehr seltenen Fällen die Vorbedingungen, die zur Ausbildung einer Peneplain nötig sind, erfüllt sein werden. Beide weisen besonders nachdrücklich auf die Instabilität der Erdkruste hin, die nicht groß genug für die unendlich langsame Abtragung der späten Stadien ist. Es würde viel zu weit führen, wollten wir hier auf die einzelnen Punkte eingehen. Das meiste hat schon *Davis* zu entkräften gewußt[2]), gewisse Schwierigkeiten sind aber auch heute noch nicht aus dem Wege geräumt. Man kennt nun seit längerer Zeit Gebirge, deren Oberfläche ziemlich eben ist und in einem starken Kontrast zu der oft ungemein komplizierten inneren Struktur steht. Für ihre Entstehung hat man jedoch eine andere Kraft verantwortlich machen wollen, nämlich die Brandungswelle des Meeres, und es ist besonders *v. Richthofen* gewesen, dem wir die Aufstellung der grundlegenden Prinzipien dieser Art von Abhobelung von Landflächen oder der Abrasion, wie der technische Ausdruck lautet, verdanken. Die Wellen nagen dauernd an den Küsten, und wir können verfolgen, wie sie unter Umständen in relativ kurzer Zeit große Stücke Landes verschlingen. Es ist sehr bekannt geworden, daß man aus diesem Grunde die Insel Helgoland durch Aufführung von Mauern zu schützen gesucht hat; Messungen, die man an der samländischen Küste veranstaltet hat, haben ergeben, daß hier dem Meere jährlich ein Streifen von $^1/_2\,m$ zum Opfer falle.[3]) In England besteht schon seit längerer Zeit eine besondere, aus verschiedenen Gelehrten gebildete Kommission, die sich mit der Untersuchung der Einwirkung des Meeres auf die dortigen Küsten zu beschäftigen hat und Mittel und Wege auffinden soll, die geeignet sind, dem weiteren Landverlust Einhalt zu gebieten. Nachdem schon 1847 der englische Geologe *Ramsay* die Bedeutung dieses Vorganges für die Umformung der Landmassen betont hatte, ist *v. Richthofen* unabhängig von ihm auf seinen Reisen in China auf denselben Gedanken gekommen, hat ihm dann aber eine viel größere Tragweite verliehen. Wenn nur genügend Zeit zur Verfügung steht, so kann es keinem Zweifel unterliegen, daß jede Landmasse, jedes auch noch so hoch aufragende Gebirge schließlich von den Wellen aufgezehrt werden muß, und daß an ihre Stelle eine untermeerische Plattform, die Abrasionsterrasse, tritt (Fig. 12). Zu größeren Effekten wird es aber doch nur dann kommen können, wenn die Brandung bei ihrem Vorschreiten durch eine Senkung des Landes oder eine Hebung des Meeresspiegels in ihrer Tätigkeit unterstützt wird. Das Meer wird bei seiner

[1]) *Tangier Smith*, Some aspects of erosion in relation to the theory of peneplain. Bull. Departm. of Geol. Univers. of California, II. 1899, pag. 155.

[2]) *Davis*, The peneplain. Amer. Geologist, XXIII, 1899, pag. 207; Geographical Essays, Boston 1909, pag. 350.

[3]) *Brückmann* und *Ewers*, Beobachtungen über Strandverschiebungen an der Küste des Samlands. I. Leipzig 1911.

Attacke stets auf der ganzen Linie vorgehen, wenn natürlich auch zeitweise der Angriff durch das Auftreten sehr widerstandsfähiger Gesteine an einzelnen Stellen aufgehalten werden kann. Gerät nun durch eine Hebung eine solche Abrasionsterrasse wieder in die Höhe und wird zum Festland, so werden wir eine ebene Fläche vor uns haben, die keinerlei Beziehung zu dem inneren Bau zu besitzen braucht.

Wer mit der Eisenbahn oder dem Dampfschiff das Durchbruchstal des Rheins im Schiefergebirge durchfährt, erhält den Eindruck, daß er sich in einem Gebirgslande befindet. Steigt er jedoch auf die Höhe, so

Fig. 12.

Abrasionsplattform an der Westküste der Isle of Jersey.
(A. Rühl phot.)

sieht er eine beinahe völlig ebene Fläche vor sich, aus der sich nur hier und da einige flache Erhebungen herausheben. Das Schiefergebirge besitzt einen ungemein verwickelten inneren Bau, den es einer Faltung in spätpaläozoischer Zeit verdankt; die heutige Oberfläche nimmt jedoch auf ihn keinerlei Rücksicht, sondern zieht gleichmäßig über Mulden und Sättel, gesunkene und gehobene Schollen hinweg; nur der Gesteinscharakter beeinflußt die Oberfläche gelegentlich: es ragen die sehr widerstandsfähigen Teile als Härtlinge heraus. Es ist sehr möglich, ja sogar wahrscheinlich, daß hier das einstige Gebirge mehrfache Einebnungen durchlebt hat, für unsere Zwecke genügt es zu wissen, daß heute eine Peneplain vorliegt, die später gehoben wurde, so daß die Flüsse sich von neuem einzuschneiden

vermochten. Mit dieser Arbeit sind sie jedoch noch nicht sehr weit gediehen, die Rheinschlucht ist noch jung, steht allenfalls auf dem Übergangsstadium von der Jugend zur Reife. So kommt es denn, daß die Zerschneidung der Peneplain noch ziemlich unbedeutend ist und große Stücke von ihr zwischen den einzelnen Tälern noch erhalten sind. Die Seitentäler der Mosel stehen natürlich in ihrer Ausbildung noch weiter zurück, sie sind unten so eng, daß sie dem Verkehr und der Ansiedlung die größten Schwierigkeiten entgegensetzen und bewirken, daß nach so wichtigen Ortschaften, wie z. B. nach Bad Bertrich, bis auf den heutigen Tag noch keine Eisenbahn hat geführt werden können. Verfolgt man diese Täler bis zur Quelle aufwärts, so sieht man, wie sie immer breiter und flacher werden, bis sie schließlich auf der Hochfläche nur noch ganz schwach angedeutete Mulden darstellen. Die Wiederbelebung der Erosion ist noch nicht so weit zurückgeschritten und so kommt es, daß man das paradoxe Verhältnis vor sich hat, daß die Täler in ihrem Unterlauf sehr junge, in ihrem Oberlauf dagegen alte Formen aufweisen.

Ähnlich liegen die Verhältnisse im Harz, dessen östlicher Teil vor kurzem von *Gehne* untersucht worden ist.[1]) Die Peneplain ist hier, worauf besonders *Behrmann* aufmerksam gemacht hat[2]), von Brüchen durchsetzt, überhaupt stark disloziert und gleiches gilt nach den Forschungen *Philippis* für den Thüringer Wald.[3])

Wie die deutschen Mittelgebirge in der geologischen Geschichte den französischen verwandt sind, so auch in der morphologischen Entwicklung. Das französische Zentralplateau weist in ganz ausgezeichneter Weise die Züge von Fastebenen auf, vielleicht noch schöner sind sie zu sehen in der Bretagne, wo nach der Emporhebung eine leichte Senkung eingetreten ist, die die Flußmündungen ertrinken ließ.

Es wurden diese Gebiete ausgewählt, denn hier sieht man deutlich die Wandlung, die unsere Anschauungen durchgemacht haben. *v. Richthofen* nannte gerade sie als hervorragende Beispiele von Abrasionsgebirgen in Europa, während schon im Jahre 1899 *Albert de Lapparent* auf dem internationalen Geographenkongreß in Berlin[4]) sie als typisch ausgebildete Peneplains ansprach und behauptete, daß bei keiner einzigen die marine Abrasion für die Herausbildung ihrer Oberflächenformen eine Rolle gespielt habe. Es ist im allgemeinen ungemein schwierig, Abrasionsflächen und subaerile Verebnungsflächen voneinander zu trennen und Kriterien zur Auseinanderhaltung beider Formen sind eigentlich noch wenig angegeben worden. Einiges wird man in den in der Einleitung erwähnten Vorlesungen

[1]) *Gehne*, Beiträge zur Morphologie des östlichen Harzes. Diss. Halle 1911.

[2]) *Behrmann*, Zur Morphologie des Kyffhäuser. Mitt. d. Ver. d. Geographen an der Universität Leipzig, I, 1911, S. 67.

[3]) *Philippi*, Über die präoligocäne Landoberfläche in Thüringen. Zeitschr. D. Geolog. Ges., LXII, 1910, S. 305.

[4]) *Albert de Lapparent*, La question des pénéplaines envisagée à la lumière des faits géologiques. Verhandl. des VII. Intern. Geographenkongresses zu Berlin 1899, II, 1901, S. 213.

von *Davis* über diesen Punkt finden, es soll aber an dieser Stelle nicht näher auf diesen, wenn auch sehr wichtigen Gegenstand eingegangen werden und ein paar Bemerkungen müssen genügen. Haben wir es mit einer Peneplain zu tun, so hat eine sehr weitgehende Anpassung der Gewässer an die Struktur während ihrer Ausbildung stattfinden müssen, und diese wird sich auf den folgenden, durch Hebung eingeführten Zyklus übertragen: es werden also in diesem Falle vor allem subsequente und obsequente Flüsse vorhanden sein, während auf Abrasionsflächen zunächst konsequente Flüsse vorwiegen müssen. Haben wir es mit Landmassen zu tun, die nachweislich in bestimmten geologischen Perioden keine Meeresüberflutung erlebten, so werden sie der festländischen Abtragung ausgesetzt sein. Ist die Landmasse hoch, so werden recht grobe Sedimente von ihr geliefert und von den Flüssen zur Abtragung gebracht werden: je mehr sie aber erniedrigt wird, je stärker sie sich dem Peneplainzustand nähert, um so geringer nicht nur, sondern auch um so feiner werden auch die Schuttmassen sein müssen. Das Innere von Spanien liegt unter einer mächtigen Decke von Sedimenten begraben, die man früher für Ausscheidungen aus gewaltigen Seebecken hielt, die man aber heute nach den Untersuchungen von *Penck*[1]) im großen und ganzen für fluviatile Bildungen halten muß. Es konnte nun gezeigt werden, daß z. B. in Catalonien eine subaerische Rumpffläche vorliegt, deren Abtragungsprodukte man im Nordwesten findet und die eine ganz kontinuierliche Abnahme ihres Korns nach den oberen Horizonten hin erkennen lassen.[2]) Ebenso sind die marinen pliocänen Sedimente, die der adriatischen Abdachung des Apennins vorgelagert sind, feinkörnig und tonig, sie stammen eben nach den Untersuchungen von *Braun*[3]) von einer dahintergelegenen Peneplain, und ein gleiches gilt von denselben Bildungen im mittleren Apennin, wo diese Einebnung nicht einen so breiten Streifen wie im Norden erfaßte.[4])

Ein ganz ausgezeichnetes Beispiel einer Peneplain ist die sogenannte russische Tafel, in der paläozoische wie mesozoische Sedimente ganz flach lagern und eine Hochfläche von 200—300 *m* Meereshöhe bilden. Wir haben aber doch hier keine ursprüngliche Ebene vor uns, sondern vielmehr eine Verebnungsfläche subaerilen Ursprungs, da die Oberfläche über alle Formationen gleichmäßig hinwegzieht.[5]) Auf eng begrenztem Gebiet wird man bei horizontaler Lagerungsform der Gesteine im allgemeinen nicht in der Lage sein anzugeben, ob eine Strukturfläche oder eine Abtragungsfläche vorliegt. In solchen Fällen muß man das Verhältnis zu den Nachbarland-

[1]) *Penck*, Studien über das Klima Spaniens während der jüngeren Tertiärperiode. Zeitschr. d. Ges. f. Erdk. Berlin. XIX. 1894. S. 109.

[2]) *Rühl*, Geomorphologische Studien aus Catalonien. Ebenda. 1909, S. 250.

[3]) *Braun*, Beiträge zur Morphologie des nördlichen Apennins. Ebenda, 1907. S. 447.

[4]) *Rühl*, Studien in den Kalkmassiven des mittleren und südlichen Apennins. Ebenda, 1911, S. 98.

[5]) *Philippson*, Zur Morphologie des europäischen Rußland. Pet. Mitt., Bd. 45. 1899. S. 269.

schaften untersuchen, in denen die Struktur eine andere ist. Findet man dann, daß die Oberfläche über beide Teile in gleichartiger Weise hinweggeht, so muß sie auf eine Verebnung zurückgeführt werden. Gelegentlich trifft man auch im Tafellande selbst kleine eingeklemmte Schollen, die durch Verwerfungen eine Schrägstellung erfahren haben; nimmt wiederum die Oberfläche keinerlei Rücksicht auf diese Strukturverschiedenheit, so ist der Nachweis einer Einebnung nicht schwer zu erbringen.

In den vorhin genannten Beispielen von subaerisch gebildeten Rumpfflächen ist die Rekonstruktion der alten Fläche verhältnismäßig leicht. Es waren hier zwischen den Tälern noch größere Stücke erhalten geblieben und man braucht sich nur die Täler wieder ausgefüllt vorzustellen. Hat die Zerschneidung jedoch einen hohen Grad erreicht, wie im nördlichen Teile des Thüringer Waldes, so ist die Wiederherstellung des ursprünglichen Zustandes nicht so einfach. Es werden allerdings die einzelnen Rücken und Spitzen, da sie ja aus der Rumpffläche herausgeschnitten sind, lange Zeit hindurch ungefähr dieselbe Höhenlage bewahren und man kann sich, wenn man auf der Höhe steht, eine Fläche durch sie hindurchgelegt denken, die alle berührt. Diese sogenannte Konstanz der Gipfelhöhen ist eine sehr weit verbreitete Erscheinung.

In den Abruzzen liegen die Gipfel des Gebirges fast allgemein ganz auffällig in Höhen zwischen 1800 und 2200 *m* und die von *Burrard* und *Hayden* entworfenen Karten des Himalaya[1]) lassen deutlich erkennen, wie Gipfel zwischen 7300 und 7600 *m* sehr selten auftreten, daß dagegen solche zwischen 7600 und 7900 *m* ungemein häufig sind. Die fortschreitende Abtragung wird bereits die Tendenz in sich tragen, ursprünglich vorhandene Höhenunterschiede auszugleichen. Denn je höher ein Gebirge aufragt, um so kräftiger entfalten sich auch die zerstörenden Vorgänge und nach einer gewissen Zeit werden benachbarte Gebiete in ungefähr dasselbe Niveau gebracht worden sein.[2]) Es ist aber das Phänomen auch auf noch andere Weise erklärbar und *Daly* hat diese verschiedenen Möglichkeiten zusammengestellt.[3]) Man muß sich also hüten, das Vorhandensein einer Konstanz der Gipfelhöhen als alleiniges Kriterium für die frühere Existenz einer Peneplain zu betrachten.

Es sind im Laufe der letzten Jahre aus allen Erdteilen zahllose Peneplains beschrieben worden, sie weichen aber alle in einem Punkt von der idealen Peneplain ab, wie es schon die angeführten wenigen Beispiele zeigten: sie liegen nämlich nicht mehr in der Nähe des Meeresspiegels, sondern haben sämtlich durch Bewegungen der Erdkruste eine Veränderung ihrer Höhenlage erfahren, alle befinden sich wieder im Sta-

[1]) *Burrard* and *Hayden*, Rivers and valleys of the Himalayas and Tibet. Calcutta 1907.

[2]) *Penck*, Morphologie der Erdoberfläche. Stuttgart 1894, II, S. 161 ff.; siehe auch die daselbst angeführten Zahlen aus den Alpen.

[3]) *Daly*, The accordance of summit levels among alpine mountains: the fact and its significance. Journ. of Geol., XIII, 1905, pag. 105.

dium einer erneuten und mehr oder weniger weit vorgeschrittenen Zerschneidung. Diese Eigentümlichkeit der heute sichtbaren Peneplains ist schon seit langem von verschiedenen Seiten als ein Argument gegen die ganze Peneplaintheorie verwendet worden, und sie erheischt in der Tat eine besondere Erklärung, die allerdings nicht leicht zu geben ist. Man ist zu der Annahme genötigt, daß unsere geologische Gegenwart sich gegenüber der Vergangenheit verschieden verhält und eine weiter unten erwähnte Hypothese ist vielleicht geeignet, dieses Argument zu entkräften.

Wie die Urformen einer Landschaft auch beschaffen gewesen sein mögen, die Endformen werden nach der hier vorgetragenen Auffassung stets eine mehr oder weniger ausdruckslose Fläche bilden, in der die innere Struktur nur soweit noch eine Bedeutung hat, als sie die Verteilung und Verbreitung der Monadnocks bestimmt. Ein solcher idealer Zyklus wird aber nur in ganz seltenen Fällen zur Ausbildung gelangen können, da die Erdkruste nicht stabil ist, und jede Bewegung, mag sie sich nun in Hebung oder Senkung, Schrägstellung oder Faltung äußern, den weiteren Verlauf des Zyklus unterbricht und die Entwicklung aufhält. Gerade die morphologischen Untersuchungen der letzten Jahrzehnte sind es gewesen, die uns mit Bewegungen der Erdrinde bekannt gemacht haben, deren Charakter und ausgedehnte Verbreitung man früher nicht genügend berücksichtigt hatte, weil sie nur in ganz besonderen Fällen der einfachen Beobachtung zugänglich sind. Im Gegensatz zu den gebirgsbildenden Vorgängen, die sich vorwiegend in Faltungen und Brüchen äußern und meist nur Schollen von relativ geringem Umfang betreffen, handelt es sich hier um Bewegungen in der Vertikalen, die die Gebirge in ihrer Gesamtheit oder überhaupt weite Flächenräume als Ganzes in Mitleidenschaft ziehen oder auch unregelmäßige Wellungen erzeugen.[1]) Die rhythmischen Schwankungen des Serapistempels von Pozzuoli bei Neapel oder die allmähliche Hebung Skandinaviens, die sich in vom Meere ausgearbeiteten Strandterrassen äußert, die in großer Höhe über dem gegenwärtigen Meeresspiegel liegen, konnten natürlich nicht lange verborgen bleiben. Aber man glaubte hierbei an singuläre Vorkommnisse, ahnte nicht die Rolle, die derartige Verschiebungen spielen, die man mit *Gilbert* als epeirogenetische Bewegungen den eigentlich gebirgsbildenden gegenüberstellt. In einzelnen Fällen ist es gelungen nachzuweisen, daß jene auch heute noch fortdauern. An der schwedischen Küste hat schon im Beginne des 18. Jahrhunderts *Celsius* Landmarken angebracht, die eine ziffermäßige Feststellung des jährlichen Anstieges ermöglichten. Das Gebiet der großen Seen in Nordamerika ist, wie sich später gezeigt hat, gleichfalls solchen Bewegungen unterworfen[2]), und

[1]) Solche hat z. B. *v. Łoziński* nachgewiesen: Über quartäre Krustenbewegungen im Gebiete der wolhynisch-ukrainischen Granitplatte. Zeitschr. D. Geol. Ges., LXIII, 1911, Monatsber., S. 319.

[2]) Siehe den zusammenfassenden Aufsatz von *Gilbert,* Modification of the Great Lakes by earth movement. Ann. Rep. Smithsonian Inst., 1898, pag. 349 und *Spencer,* The focus of postglacial uplift. Journ. of Geol., XIX, 1911, pag. 57.

zwar findet hier eine Schrägstellung gegen Südsüdwesten hin statt. Diese bewirkt, daß das Wasser im Norden weggezogen wird und im Süden ansteigt, so daß hier gelegene Städte, wie Chicago einer, wenn auch sehr langsam vor sich gehenden, so doch anscheinend unaufhaltsamen Überflutung entgegengehen. Dies hat man gleichfalls durch Anbringung von Landmarken an den Ufern des Sees in exakter Weise nachweisen können. Man errichtete an zwei aneinander gegenüberliegenden Punkten des Sees Fixpunkte, deren Abstand vom Spiegel des Sees genau vermessen wurden. Wenn sich dann nach einiger Zeit die Höhe des Wasserspiegels verändert hat, läßt sich dies natürlich leicht feststellen, und wenn die Veränderungen an den zwei Punkten sich als voneinander verschieden erweisen, so darf man auf eine Schrägstellung schließen. Im Innern der Festländer, wo man nicht im Wasserstande von Seen eine Marke besitzt, ist der Beweis einer solchen Verbiegung weit schwerer zu erbringen. Die Anschauungen über die Entstehung der Gebirge haben in dem letzten Jahrzehnt überhaupt eine durchgreifende Umgestaltung erfahren. Für die Morphologie ist vor allem die Erkenntnis wichtig, die zum ersten Male von dem ausgezeichneten französischen Geologen *Marcel Bertrand* ausgesprochen wurde, daß der komplizierte Faltenbau nur im Innern der Erde, in der mehr plastischen Masse sich gebildet haben könne, und daß die Gebirge ihre heutige Höhe einer Emporpressung verdanken, die sie als Ganzes betroffen hat: erst dadurch, daß sie dann abgetragen wurden, daß sich die Flüsse einschnitten, haben wir einen Einblick in ihr Inneres erhalten. So hat sich denn die Auffassung immer mehr Bahn gebrochen, daß die tertiäre Faltung den Oberflächencharakter nur noch auf Umwegen, nicht mehr direkt bestimmt, daß das heutige Relief häufig auf Bewegungen des Gebirges zurückgeht, die es als ganzes betroffen hat. Dies haben *Penck* und *Brückner* z. B. für die Alpen in überzeugender Weise dargetan[1]); sie nehmen an, daß die Alpen bereits in das reife Stadium eingetreten waren, als die Hebung einsetzte, während *de Martonne* die Meinung vertritt, daß sie jugendliches Gepräge besaßen.[2]) *de Martonne* hat für die von ihm genau durchforschten Transsylvanischen Alpen gezeigt[3]), daß sogar Verebnungen subaerilen Ursprungs auf ihren Höhen zu finden sind, in die die jetzigen Täler eingesenkt sind, und noch zahlreiche ähnliche Fälle ließen sich anführen.

Eine jede derartige Bewegung der Erdkruste wird eine Veränderung herbeiführen müssen. Wird das Land gehoben, so senkt sich also die Erosionsbasis für alle Flüsse und sie werden in die Lage versetzt, sich von neuem einschneiden zu können, wenn sie auch vorher vielleicht beinahe gar keine Tiefenerosion mehr ausübten; sie müssen jetzt auf die Erreichung eines neuen Gleichgewichtsprofils hinarbeiten. Senkt sich das Land, so

[1]) *Penck* und *Brückner*, Die Alpen im Eiszeitalter. Leipzig 1909.

[2]) *de Martonne*, L'érosion glaciaire et la formation des vallées alpines. Ann. de Géogr., XIX, 1910, pag. 289; XX, 1911, pag. 1.

[3]) *de Martonne*, Recherches sur l'évolution morphologique des Alpes de Transsylvanie. Rev. de Géogr., I, 1907, pag. 1.

geraten die Mündungen der Täler unter Wasser und das Meer steigt in ihnen hinauf; das Gefälle der Flüsse erleidet eine Verminderung, sie werden zum Aufschütten veranlaßt. Solche Bewegungen haben nun, wie die morphologischen Studien ergeben haben, überall stattgefunden: eigentlich nirgends ist der Ablauf eines Zyklus ein ungestörter gewesen, immer ist es zu Stockungen gekommen. Alle tektonischen Bewegungen, welcher Art sie auch sein mögen, werden daher als „Unterbrechungen" des Zyklus bezeichnet und in Gegensatz zu den „Störungen" gesetzt, den vulkanischen Ausbrüchen und den Variationen, wie sie durch das Einsetzen anders gearteter klimatischer Zustände erzeugt werden. Jede Unterbrechung führt einen neuen Zyklus ein, und wenn ein zweiter Zyklus zur Ausbildung gelangt ist, so gelten die Formen des ersten als die Urformen des zweiten; allgemein gesprochen: der älteste noch erkennbare Zyklus stellt immer die Urform dar, denn was sich vor diesem zugetragen hat, besitzt selbstverständlich keinerlei geographische Bedeutung. Es ist klar, daß solche Unterbrechungen in jedem beliebigen Stadium des Zyklus auftreten können. Nehmen wir z. B. den Fall an, daß ein Haupttal bereits in das Reifestadium übergeführt wurde, als eine Hebung einsetzte. Der Fluß schneidet dann wiederum in seinen reifen Talboden ein junges Tal ein, er ist, wie man sich ausdrückt, „verjüngt" oder „neubelebt"; der ältere Talboden wird sich dann nach einiger Zeit über dem aktuellen Bett erheben und eine Terrasse bilden. Aber nicht immer wird sich eine Zyklusunterbrechung konstatieren lassen, nämlich nur dann, wenn der spätere Zyklus weniger weit vorgeschritten ist als der frühere. Denken wir uns einen jungen Fluß und lassen ihn sich verjüngen, so wird nach kurzer Zeit schon das Tal genau dasselbe Bild aufweisen wie vorher, die Unterbrechung hat keinerlei Spuren hinterlassen können. Es ergibt sich daraus, daß die Zahl der wirklich eingetretenen Unterbrechungen wohl stets größer ist als die in der Natur nachweisbaren: da diese sich eben nicht in der Landschaft markieren, haben sie auch keinen geographischen Wert.

Man findet, wie gesagt, überall Unterbrechungen des zyklischen Ablaufes der Entwicklung, und zwar in recht großer Zahl. Sah man eine ganze Reihe von Terrassen übereinander, so durfte man folgern, daß eine Hebung eine Wiederbelebung der Erosionstätigkeit hervorgerufen hatte, und so konnte man von zahlreichen Hebungen während der Entwicklung einer Landmasse sprechen. Über die Ursachen dieser mannigfachen Hebungen ist man sich allerdings nicht recht im klaren; man konstatierte nur, daß die Erdkruste ungemein beweglich ist, wußte aber nicht recht, auf wessen Kosten man diese Beweglichkeit setzen sollte; man vermochte eine Hebung nachzuweisen, aber nicht anzugeben, wie sie denn eigentlich zustande kam, was wohl manchem ein Gefühl des Unbehagens bereitet hat. Der Verfasser hat kürzlich den Versuch gemacht, einen Weg aufzuzeigen, der vielleicht aus dieser Schwierigkeit hinausführt[1]); es handelt

[1]) *Rühl,* Isostasie und Peneplain. Zeitschr. d. Gesellsch. f. Erdk., Berlin 1911, S. 479.

sich dabei nicht um ein eigentlich morphologisches Problem, sondern um eines der Erdphysik. Durch Abtragung des Landes und Ablagerung des fortgeführten Materiales an anderer Stelle wird eine fortdauernde Störung des Gleichgewichtszustandes der Erdkruste erzeugt, die sogenannte Isostasie wird gestört, und nur, wenn die Erde unendlich starr wäre, könnte keinerlei Bewegung auf diese Weise erzeugt werden. Da die Erde nun über einen gewissen Grad von Elastizität verfügt, muß ein Ausgleich stattfinden: wird eine Landmasse der Denudation unterworfen, so wird sie entlastet und damit zum allmählichen Aufsteigen gezwungen. Dieses kann aber nicht einfach mit der Abtragung gleichen Schritt halten, denn es muß zunächst die Starrheit der fest miteinander verbundenen Schollen überwunden werden. Wenn dies geschehen ist, erfahren die abtragenden Kräfte eine Neubelebung, aber die Schollen werden nicht wieder bis zu der früheren Höhe aufzusteigen vermögen, weil die Erdkruste nicht völlig elastisch ist, sondern vielmehr sich etwas plastisch verhält. Das Spiel beginnt dann von neuem und kann sich unendlich oft wiederholen, nur daß jedesmal das Ausmaß der isostatischen Hebung geringer wird. Schließlich wird aus diesem Grunde doch eine vollständige Einebnung zustande kommen können, wenn nicht gebirgsbildende Vorgänge störend dazwischen treten. Wann jene isostatischen Aufwärtsbewegungen einsetzen, hängt von lokalen Verhältnissen ab. Es darf stets als eine Empfehlung für eine Hypothese gelten, wenn sie auch Tatsachen zu erklären vermag, an die man bei ihrer Aufstellung gar nicht gedacht hatte. Die eben kurz skizzierte Hypothese sollte es nur verständlich zu machen suchen, warum wir heute keine Peneplain in idealer Ausbildung auf der Erde finden, sondern nur solche, die wiederum gehoben und dann zerschnitten sind. Bei näherem Zusehen zeigte sich nun, daß nach der Hauptfaltung bei verschiedenen Gebirgen ein ständiger Wechsel von Hebung und Abtragung nachweisbar ist, der aber deutlich die Tendenz des Abklingens an sich trägt. Gebirge, die schon in paläozoischer Zeit gefaltet sind und keine weiteren orogenetischen Deformationen durchgemacht haben, werden deswegen nicht mehr zu jener Höhe aufragen, wie sie die tertiären Faltengebirge besitzen. Aber noch eine andere Tatsache vermag vielleicht eine Aufhellung zu finden, die bisher noch nicht einwandfrei erklärt worden ist, nämlich der Terrassenbau der Täler, ihr gestuftes Querprofil. Warum vollzieht sich die Eintiefung eines Tales nicht gleichmäßig, warum schalten sich in so vielen Tälern immer Ruhepausen dazwischen ein? Diese Schwierigkeit löst sich nach unserer Auffassung in sehr einfacher Weise dadurch, daß die Hebung eines Gebietes nicht kontinuierlich zu erfolgen braucht, sondern in einzelnen Etappen vor sich gehen kann, daß immer erst eine Summierung der Kräfte eintreten muß, bis es wieder zu einer neuen Aufwärtsbewegung kommen kann. Selbstverständlich sollen damit nicht alle Terrassen erklärt werden, aber eine so weit verbreitete Erscheinung legt doch die Vermutung nahe, daß ihr auch eine allgemein wirkende Ursache zugrunde liegt, deren Effekte dann durch örtliche Verhältnisse modifiziert, unter Um-

ständen vielleicht sogar vollständig verdeckt werden. Erweist sich die Hypothese als richtig, so braucht man nicht mehr sich zu scheuen, von zahlreichen Hebungen während der Entwicklung einer Landschaft zu sprechen.

Nehmen wir nun einmal an, daß eine Peneplain von neuem gehoben wird. Die ursprünglich auf ihr in Mäandern hin und her ziehenden Flüsse werden also neubelebt, erhalten die Fähigkeit, wiederum ein Tal einzuschneiden. Dabei müssen sie jedoch den Lauf, den sie bei der Hebung innehatten, beibehalten, sie vertiefen demnach die Mäander, und wenn genügende Zeit verstrichen ist, werden wir einen mäandernden Fluß erhalten, dessen Wände steil sind und dessen Bett unausgeglichen ist. Wir haben dann Formen der Jugend mit Formen der Reife resp. des Alters — die Fläche, in der die Mäander liegen, ist ja eine Peneplain — miteinander vergesellschaftet. Solche Mäander bezeichnet man im Gegensatz zu den einzyklischen als eingesenkte, und die angegebene Erklärung ist wohl die einfachste, die für die Entstehung dieser Inkongruenz gegeben werden kann. Nicht immer wird es leicht sein zu bestimmen, welchem Typus ein Tal angehört. Die klassischen Mäander des Moseltales gehören sicher zu den eingesenkten, denn hier kann kein Zweifel darüber sein, daß die Fläche, in die sie eingeschnitten sind, eine Abtragungsfläche, eine Rumpffläche ist, daß wir also zum mindesten zwei Zyklen vor uns haben. Aber nur in den ersten Stadien der Entwicklung werden die beiden Typen einander unähnlich sein. Denn die einzyklischen Mäander sind ein Zeichen der Reife, in der Jugend sind nur unregelmäßige Biegungen des Flusses vorhanden, während die eingesenkten Mäander bereits in der Jugendzeit völlig regelmäßig und symmetrisch ausgebildet sind; in diesem Falle ist also die Scheidung relativ einfach. Die Mäander der Werra zwischen Kreuzburg und Eschwege, wo die Landschaft schon in das volle Reifestadium eingetreten ist, liegen jedoch in fast horizontalen Schichten, von denen man nicht ohne weiteres aussagen kann, ob sie eine ursprüngliche Strukturoberfläche oder eine Abtragungsfläche darstellen: sie können also sowohl im Reifezustand des ersten wie des zweiten Zyklus stehen. Betrachtet man nun den Werralauf etwas weiter unterhalb, am Ostabhang des Meißner, so sieht man, wie sie in eine Peneplain hineingeschnitten sind, die aus stark gefalteten Schichten besteht und aus der sich nur der Meißner wegen seiner durch die Basalthaube bewirkten größeren Widerstandsfähigkeit erhebt. Da an dieser Stelle die Mäander sicher als eingesenkte zu betrachten sind, werden sie es auch in dem weiter oberhalb gelegenen Laufstück sein; wir hätten demnach eine zweizyklische Ausbildung, die Verhältnisse sind denen des Moseltales ganz analog. Da aber jene beide Formen, wie wir sahen, ganz gleiches Aussehen an sich tragen können, und es eben nur darauf ankommt, ob sie in einer Struktur- oder Skulpturoberfläche liegen, so sind Mißverständnisse leicht möglich. So hat sich z. B. *de Martonne*[1]) gegen die genetische Vereinigung beider Formen ausge-

[1]) *de Martonne,* Traité de géographie physique. Paris 1909, pag. 432.

sprochen: die eingesenkten Mäander brauchen seiner Meinung nach nicht aus den divergierenden hervorzugehen. Für ihn ist die Entwicklung der eingesenkten „eine normale Episode der Talentwicklung". Das läßt sich nicht bestreiten, es handelt sich eben nur um die Frage, ob sie noch im ersten oder bereits im zweiten Zyklus stehen. Es wäre daher vielleicht besser, wenn man für die Mäander im zweiten Zyklus den Ausdruck „eingesenkt" fallen ließe und den auch sonst für gewisse Flüsse verwendeten Terminus „ererbt" gebrauchte; sie haben nämlich aus ihrem früheren Zyklus eine Eigenschaft mit hinübergenommen, die sie eigentlich erst nach längerer Arbeit sich erwerben sollten. Dieser Name ist so bezeichnend, daß Mißverständnisse oder eine mißbräuchliche Anwendung wohl ausgeschlossen wären.

Auf anderem Wege hat *Vacher* versucht, jene eingesenkten Mäander verständlich zu machen.[1]) Nach ihm werden sie entstehen können, wenn ein divagierender Mäander, der sich in weichem Gestein entwickelte, bei seinem weiteren Fortschreiten in die Tiefe auf hartes Gestein gerät, wo dann die Arbeit weit schwerer vonstatten geht und steile Gehänge erzeugt werden können. Er betont ausdrücklich, daß diese Auffassung nicht für alle eingesenkten Mäander Gültigkeit haben solle, aber die des Cher, der Creuse, der Maß in den Ardennen sollen Beispiele dieser Art sein, da sich hier auf den Höhen noch Überreste der weicheren Gesteinsmassen nachweisen ließen, und er schlägt vor, solche Mäander als „tektonische" von den anderen, den „zyklischen", zu trennen. Der von *Vacher* angenommene Fall ist in der Tat theoretisch denkbar, aber es ist doch nicht einzusehen, woher der Mäander denn überhaupt die Kraft zu einer kräftigen Tiefenerosion erhalten könnte. Diese ist ja im Mäanderstadium nur ganz unbedeutend und es wird sicherlich die Abtragung der Gehänge mit ihr gleichen Schritt zu halten vermögen, so daß also steile Talwände kaum resultieren dürften.

Da die Ansatzstelle des Halses eines Talsporns bei sehr engliegenden Mäandern von beiden Seiten her angegriffen wird, so kann es vorkommen, daß an diesem Punkte der Fluß durchbricht, sein altes Bett verläßt, so daß der Sporn isoliert aus dem Talboden aufragt. Diese sogenannten Umlaufberge sind an der Mosel mehrfach zu sehen, ebenso bei Münden kurz oberhalb der Vereinigungsstelle von Werra und Fulda. Bei Bad Bertrich ist ein solcher Durchstich auf künstlichem Wege geschaffen worden: der Römerkessel ist das verlassene Talstück des Üßbaches. Es ist klar, daß der Fluß auf diese Weise eine Verkürzung seines Laufes erfährt und sich sein Gefälle am Durchschneidungspunkte vergrößert, weshalb man auch bei Bertrich das neue Bett ausgemauert hat, um die zerstörende Kraft des mit stärkerem Gefälle begabten Flusses zu verringern.

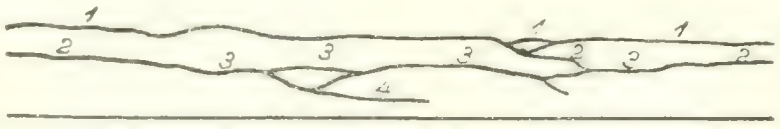
Als ein Gebirge, in dem ein mehrfacher Wechsel von Hebung und Wiederabtragung eingetreten ist, stellt sich nach den Untersuchungen

[1]) *Vacher*, Rivières à méandres encaissés et terrains à méandres. Ann. de Géogr., XVIII. 1909, pag. 311.

*Gulliver*s auch der Ural dar.[1]) Die kleine, von ihm herrührende Skizze (Fig. 13) läßt die verschiedenen Erosionsniveaus deutlich erkennen: „1“ repräsentiert die Formen des ältesten, „4“ die des heutigen Zyklus, „1“ liegt etwa 100 *m* über „4“.

Es mehren sich nun überhaupt die Anzeichen dafür, daß selbst unsere geologisch jüngsten Gebirge nicht mehr im ersten Zyklus ihrer Entwicklung stehen. Man war lange Zeit der Meinung, daß bei den tertiären Faltengebirgen der Faltenbau in noch hohem Grade die äußere Form bestimme, je besser man aber die Gebirge studiert, um so mehr zeigt sich, daß sie nach der Auffaltung einer sehr beträchtlichen Abtragung unterlagen und ihre gegenwärtigen Formen einer späteren Hebung en bloque verdanken; man hat wohl die Arbeit der abtragenden Kräfte unterschätzt. Als ein klassisches Beispiel für ein Gebirge im ersten Zyklus, in dem noch völlige Konkordanz zwischen innerer Struktur und äußerer Form herrscht, hatte bisher immer der Schweizer Jura gegolten, *Eduard Brückner* hat jedoch auch für ihn den Nachweis zu erbringen gesucht, daß sich eine Abtragungsperiode, die sogar das Gebirge bis ins Peneplainstadium brachte, auch hier zwischen die tertiäre Faltung und eine spätere Hebung einschaltet. Bevor wir auf diese ungemein wichtige Frage eingehen, müssen wir uns jedoch zunächst zu veranschaulichen suchen, wie denn überhaupt in einem Faltenland die Entwicklung vor sich geht. Wir wählen zu diesem Zwecke wieder ein sehr einfach gebautes Faltensystem aus (Fig. 14). In den Mulden werden sich Flüsse ausbilden, die, da sie ja einer tektonisch gebildeten Fläche folgen, wieder konsequent genannt werden können. Von den Hängen der Sättel werden aber gleichfalls konsequente Entwässerungslinien herabkommen; sie unterscheiden sich von den zuerst genannten nur darin, daß sie an jeder beliebigen Stelle des Gehänges auftreten können und werden deshalb als unbestimmt-konsequente bezeichnet. Wo die Falten eine ursprüngliche Einsattelung besitzen, werden auch Flüsse entstehen können, die dann quer durch das Gebirge hindurchgehen. Wenn nun, wie

Fig. 13.




Die vier Zyklen des Urals nach *Gulliver*.

Fig. 14.

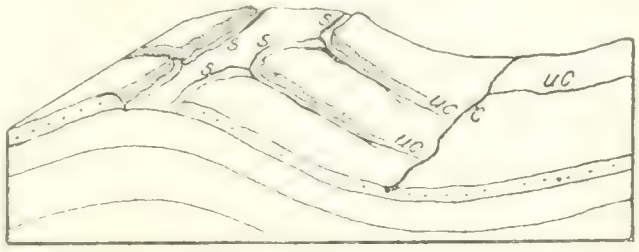
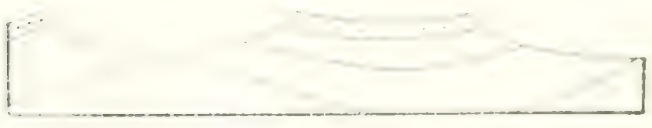



Diagramm der Entwicklung eines Faltengebirges. .... harte Schichten, *c* konsequente, *uc* unbestimmt-konsequente, *s* subsequente Flüsse.

[1]) *Gulliver*, Planation and dissection of the Ural mountains. Bull. Geol. Soc. Amer., X, 1899, pag. 69.

es doch wohl meist der Fall sein wird, harte und weiche Schichten in der Falte miteinander abwechseln, so werden sich die unbestimmt-konsequenten Flüsse wegen ihres großen Gefälles rasch einzutiefen vermögen und bald auf die weichen gelangen. Diese werden dann Veranlassung zur Entstehung subsequenter Täler geben, die sich schnell nach rückwärts verlängern; die harten Schichten werden sich gerade wie in dem Falle der Küstenebenen als Schichtstufen erheben und mit weiter fortschreitender Entwicklung werden auch hier Anzapfungen und Ablenkungen auftreten, es werden obsequente und resequente Flüßchen sich bilden usw. Die subsequenten Flüsse sind in offenbarem Vorteil gegenüber den konsequenten, die in der aus hartem Gestein zusammengesetzten Mulde fließen, sie werden bald einen Vorsprung gewinnen, und damit tritt dann eine sogenannte Umkehr der Topographie oder Inversion des Reliefs auf (Fig. 15), d. h. die ursprünglich hohen Teile einer Landschaft bilden die Tiefen, die ursprünglich tieferen die Höhen.[1]) Schreitet die Entwicklung noch weiter fort, so wird die Anpassung an die Struktur einen noch höheren Grad erreichen und die Abtragung wird schließlich dann auch hier zur Peneplain führen.

Fig. 15.



Umkehr des Reliefs bei vorgeschrittener Abtragung in einem Faltengebirge. . . . . harte Schichten.

Der Schweizer Jura ist ein Faltengebirge, das vielfach einen sehr wenig verwickelten Faltenbau aufweist, und wenn wir diese theoretischen Deduktionen auf ihn anwenden, so finden wir sie dort vielfach bestätigt. Unsere konsequenten Flüsse heißen dort „val", die unbestimmt-konsequenten „ruz", die subsequenten „combe", die Schichtstufen „crêt", die Quertäler „cluse". Diese Clusen, deren Ursprung häufig sehr schwer zu erklären ist und zur Aufstellung mannigfacher Hypothesen geführt hat, sind nun von ganz besonderem Interesse, weil sie die Falten quer durchschneiden, damit die innere Struktur klar erkennen lassen und Rückschlüsse auf die Entwicklung des Gebirges gestatten. Seit *Brückner* zum ersten Male in einer kleinen Notiz[2]) die mehrzyklische Entwicklung des Schweizer Jura betonte, der er dann in dem großen Werke „Die Alpen im Eiszeitalter" eine eingehendere Begründung gab[3]), hat der Streit über diese Frage nicht geruht. Der Verfasser hat einzelne Teile des Gebirges auf einer, wenn auch nur sehr kurzen Wanderung im Sommer 1911 gemeinsam mit Professor *Davis* und einer Reihe anderer Geographen kennen gelernt, und

[1]) Auf die Kontroverse, ob diese Inversion des Reliefs im ersten Zyklus entstehen oder ob hiezu die Einschaltung einer Peneplain nötig ist, kann hier nicht eingegangen werden. S. z. B. *v. Staff*, Zur Morphologie der Präglaziallandschaft in den Westschweizer Alpen. Zeitschr. D. Geol. Ges., LXIV, 1912, S. 35 ff.

[2]) *Brückner*, Notice préliminaire sur la morphologie du Jura suisse et français. Arch. sc. phys. (4), XIV, 1902, pag. 633.

[3]) *Penck* und *Brückner*, Die Alpen im Eiszeitalter. Leipzig 1909, Bd. II, S. 474 ff.

die Ergebnisse, zu denen man auf dieser Exkursion hinsichtlich der mehrfachen Zyklen kam, möchte er hier in aller Kürze anführen.

Bei weitem die größte Zahl aller Clusen entfällt auf das Gebiet der Birs und ihrer Nebenflüsse. Die Clusen von Moutier und Court zeigen an ihren Wänden, daß die antiklinalen Gewölbe noch fast unversehrt sind, das enge, jugendliche Tal des Flusses harmoniert also sehr gut mit der Form des Gebirges. Steht man jedoch auf der Höhe der Cluse von St. Sulpice zwischen Les Verrières und Fleurier, also viel weiter im Südwesten, so blickt man zwar wiederum in eine ganz junge Schlucht (Fig. 16), aber an den steilen Wänden erkennt man deutlich, daß das Gewölbe bereits sehr stark geöffnet ist, und die sehr ebene Oberfläche des Gebirges

Fig. 16.

Blick in die Cluse von St. Sulpice, Schweizer Jura. Man sieht die oben abgeschnittene Antiklinale. (A. Rühl phot.)

zieht über den inneren Kern wie über die äußeren Schichten, über hartes und weiches Gestein gleichmäßig hinweg. Hier hat also die Landschaft eine sehr weitgehende Abtragung erlitten, die schon spätreif oder gar alt genannt werden muß — Schichtkomplexe von mehreren hundert Metern Mächtigkeit sind verschwunden —, und doch ist sie von einem Tal mit allen Kennzeichen der Jugend durchzogen. Ähnliches zeigt der Lauf des Doubs: er ist noch jung, steile Gehänge begleiten seinen Lauf, eine Talsohle ist noch nicht zur Ausbildung gekommen. Wandert man aber z. B. von La Chaux de Fonds über die Hochfläche nach Norden zum Doubs, so sieht man, daß dieses Plateau trotz seiner gefalteten Struktur eine ebenflächige Oberfläche, frühalte Formen, aufweist, daß also auch hier

Schichten von beträchtlicher Mächtigkeit entfernt sind; jetzt befindet sich jedoch die Hochfläche im Stadium jugendlicher Zerschneidung. Wir kommen demnach in den zuletzt angeführten Gebieten mit einem Zyklus nicht aus, sondern sind zu der Annahme genötigt, daß nach der Jurafaltung eine starke Erniedrigung des Gebirges stattgefunden haben muß und daß eine spätere Hebung erst die heutigen Höhen geschaffen hat.

Wir haben also ganz eng benachbart Formen, die auf einzyklischem Wege entstanden sind, und andrerseits solche, die in so einfacher Weise nicht erklärt werden können, aber *Brückner* ist es gelungen, eine Möglichkeit aufzuzeigen, die dieses eigentümliche Verhalten verständlich macht. Der Jura als Ganzes ist nicht ein einheitlich gebautes Gebirge, er besteht vielmehr aus Stücken von verschiedenem Charakter. Man unterscheidet im allgemeinen den Tafeljura und den Faltenjura; der erstere besitzt einen fast horizontalen Schichtbau, der letztere wird von Falten beherrscht. Es läßt sich zeigen, daß auch der Tafeljura eine Abtragungsfläche ist, weil nämlich seine Oberfläche nach Norden, die ihn zusammensetzenden Schichten dagegen, wenn auch nur sehr wenig, nach Süden geneigt sind. In dem Faltenjura trennt nun *Brückner* noch einen kettenförmigen von einem plateauförmigen Faltenjura. In jenem korrespondiert immer noch ein Rücken mit einer Antiklinale, im allgemeinen spiegelt sich der innere Bau auch in der Oberfläche wieder. Der plateauförmige Faltenjura dagegen ist eine sanft wellige Hochfläche, die nicht auf einen flach lagernden Schichtbau zurückgeht, sondern wiederum sich als eine Abtragungsoberfläche deutlich dadurch zu erkennen gibt, daß die Schichten zu Synklinalen und Antiklinalen zusammengefaltet sind. Auf engem Raume also, wie gesagt, junge und alte Landformen vereinigt. *Brückner* zeigt nun, in welcher Weise diese Disharmonie verschwindet, indem er den Nachweis erbrachte, daß sich die Einebnungsfläche auch über den kettenförmigen Faltenjura erstreckt, aber hier nachträglich von tektonischen Bewegungen, von einer Schrägstellung und Faltung betroffen wurde. Wo nun die Rumpffläche in flach lagernden Schichten zur Ausbildung kam, da hat diese spätere Faltung Antiklinalen erzeugt, die auch heute noch fast unversehrt geblieben sind, während dort, wo ursprünglich bereits Falten vorhanden waren, die während der Abtragungsperiode verebnet wurden, diese schon aufgeschlossenen Gewölbe der Faltung unterworfen wurden und damit Schichten von verschiedener Widerstandsfähigkeit an die Oberfläche gebracht wurden. Vergesellschaftet mit dieser neuen Emporfaltung war eine schräge Hebung des ganzen Juragebietes und sie hat die Täler zu erneutem Einschneiden veranlaßt, auf sie ist also z. B. der junge Cañon des Doubs zurückzuführen. Nach dieser Auffassung ist demnach zwischen die erste Faltung und die spätere Dislozierung eine Periode der Einebnung einzuschalten, die den ganzen Jura betroffen hat und ihn aus dem Kreise derjenigen Gebirge austreten läßt, deren Oberflächenformen direkt auf die tertiäre Faltung zurückgehen. Auf die etwas abweichenden Anschauungen *Machačeks*[1]).

[1]) *Machaček*, Der Schweizer Jura. Pet. Mitt., Erg.-H. Nr. 150, 1905.

die sich vorwiegend auf die Art der Dislokationen beziehen, kann hier nicht eingegangen werden, es mag aber bemerkt werden, daß *Martin* bei seinen Untersuchungen im südlichen Jura eine vollständige Einebnung entbehren zu können meint.[1])

Die Erkenntnis der weiten Verbreitung und hohen Bedeutung der epeirogenetischen Bewegungen für die Oberflächengestaltung führt dazu, daß eine lange gebrauchte Unterscheidung der Gebirge in vorwiegend durch Brüche bedingte Schollengebirge und Rumpfgebirge und in jugendliche Faltengebirge, die aus der Geologie herrührt und hier wirklich eine eminente Rolle spielen muß, für die Morphologie ihre Wichtigkeit verliert und durch eine andere Einteilung ersetzt werden muß. Ansätze hierzu hat bereits *de Lapparent*[2]) und in jüngster Zeit *de Martonne*[3]) gemacht. Zu einer erschöpfenden Klassifikation ist der letztere allerdings noch nicht gelangt, sondern er hat sich damit begnügt, verschiedene Typen aufzustellen. Während die Karpathen z. B. immer als ein Beispiel für ein echtes Faltengebirge gegolten haben, in dem der Oberflächencharakter noch in hohem Grade durch die tertiäre Faltung bestimmt ist, hat sich jetzt gezeigt, daß sie zum mindesten aus drei Teilen bestehen, die in morphologischer Hinsicht ziemlich stark voneinander abweichen. Die nördlichen Karpathen stehen den Alpen, mit denen sie früher aufs engste in Zusammenhang gebracht wurden, in der Tat sehr nahe, sowohl in bezug auf den inneren Bau wie auf die Formencharaktere. Das mittlere Stück des Gebirges trägt weit mehr jurassische Züge, die Falten sind viel regelmäßiger gestaltet, die ganze Struktur bei weitem nicht so kompliziert wie in dem nördlichen Abschnitt, und daher hat auch die Entwässerung ganz andere Formen angenommen; die eiszeitliche Vergletscherung, die den Alpen ihren Stempel aufdrückt, hat hier nur ganz verschwindende Wirkungen auszuüben vermocht. Und wiederum in anderer Weise präsentieren sich die transsylvanischen Alpen: hier findet man auf den Höhen reife, ja selbst alte Formen, eine teilweise Einebnung hat zu verschiedenen Zeiten stattgefunden und das heutige Relief verdankt seine Entstehung einer Wiederbelebung der Erosionstätigkeit durch wiederholte Hebungen. Sie sind also den Appalachen verwandt, aber der innere geologische Bau beider Gebirge ist verschieden: es fehlt vor allem den transsylvanischen Alpen die für die Appalachen so ungemein kennzeichnende Anordnung der Schichten in einzelne parallele Zonen, so daß die Abtragung daher auch nicht das verjüngte Gebirge in schmale Züge auflösen konnte. Die morphologischen Beziehungen dieses Gebirges sind daher weit innigere zu den sogenannten Rumpfgebirgen als zu den jugendlichen Faltengebirgen.

Wie wir es hier für die aus verschiedenartigen Gesteinen aufgebaute Küstenebene, also eine leicht geneigte Platte, und für eine einfache Falte

[1]) *Martin,* Le Jura méridional. Rev. de Géogr., IV, 1910, pag. 1.

[2]) *de Lapparent,* Leçons de géographie physique. 3. éd. Paris 1907, pag. 701 ff.

[3]) *de Martonne,* Sur la position systématique de la chaîne des Carpathes. C.R. du Congrès intern. de Géogr., Genève 1909, Bd. II.

getan haben, kann natürlich auch die Entwicklung anderer Strukturformen betrachtet werden, also z. B. von kuppelförmigen Auftreibungen, von an Verwerfungen verschobenen Schollen etc. Für viele Typen besitzen wir bereits Beschreibungen, für andere, wie vor allem für manche kompliziert gebaute Faltengebirge noch nicht, ja, man muß sogar gestehen, daß bisher noch keine Möglichkeit abzusehen ist, das Behandlungsschema auf diese auszudehnen, und zwar aus dem bereits angedeuteten Grunde, weil man die Uroberfläche mancher dieser Gebirge, z. B. die der Alpen, nicht kennt, da sie vollständig zerstört ist.

Fig. 17.

Küstenformen im Norden von Elba. Reife Landformen mit jugendlichen, steilen, durch das Meer geschaffenen Kliffen.
(A. Rühl phot.)

An dieser Stelle muß es genügen, die *Davis*sche Methode in ihren grundlegenden Prinzipien an dem normalen Zyklus kennen gelernt zu haben. Wer sich hiermit bekannt gemacht hat, ist in der Lage, auch die anderen zyklischen Abläufe zu verstehen. Der marine Zyklus oder der litorale, wie *Penck* sagt, geht von zwei Urküstenformen aus, die entweder durch Hebung oder durch Senkung des Landes entstehen, und man verfolgt dann die Veränderungen, die sie unter dem Einfluß des Zusammenwirkens der marinen und festländischen Kräfte erleiden (Fig. 17). Während im normalen Zyklus, wie wir hervorhoben, die reifen Formen die größte Verbreitung besitzen, walten in dem marinen die jugendlichen

vor, da jede, auch die geringfügigste Änderung im Verhältnis von Land und Wasser an der Küste sofort einen Ausschlag gibt, im Innern des Landes dagegen sich nur etwas stärkere Bewegungen kenntlich machen werden. Alte Formen werden die Küsten wohl nur sehr selten zu zeigen vermögen, weil die Zeit zu ihrer Ausbildung nicht zur Verfügung stehen wird. Die Kennzeichen der verschiedenen Stadien des glazialen und des ariden Zyklus sind auch, wenigstens in den allgemeinsten Zügen, aufgestellt worden, und es ergibt sich hier eine ganze Reihe von sehr bemerkenswerten Abweichungen gegenüber dem normalen Zyklus; der Raum verbietet uns jedoch auf diese Dinge einzugehen. Deduktiv hat *Davis*[1]) den ariden Zyklus bereits dargestellt, an Beispielen aus der Natur fehlt es dagegen noch beinahe gänzlich: an der Hand dieser Methoden sind gerade die Wüsten in ganz verschwindendem Maße untersucht worden.[2]) Wie man sich die den verschiedenen Stadien des glazialen Zyklus entsprechenden Landformen vorstellen kann, zeigen einige Skizzen, die von *Nussbaum* entworfen wurden.[3])

Es möge am Schlusse noch kurz auf die praktische Bedeutung der Methode hingewiesen werden. Zunächst bietet sie dem Forscher eine sehr zweckmäßige Handhabe bei seinen Studien; er kann mit ihr, wenn sie einmal vollständig ausgebildet sein wird, jede Landschaft beschreiben, und bei seinen Untersuchungen im Felde setzt sie ihn in den Stand, ganz systematisch vorzugehen. Hat man ein Gebiet nach Struktur, Vorgang, Stadium, Relief und Gliederung bestimmt, so vermag man jedes Stück der Oberfläche in einen bestimmten Zyklus einzuordnen und alle Teile in systematische Beziehungen zueinander zu setzen. Der Leser wiederum, der mit der Terminologie und der Methode vertraut ist, kann, da die Beschreibung auf genetischer Basis ruht, sich leicht ein Bild der Landschaft machen, er kann vor allem sehr bequem die beschriebene Landschaft mit anderen vergleichen, die er aus der Literatur oder von eigener Anschauung her kennt. Da alle Formen zueinander in ganz gesetzmäßigen Beziehungen stehen müssen, ruft jeder Terminus sofort ein ganz bestimmt umgrenztes Bild vor dem geistigen Auge des Lesers hervor; wir haben ja gesehen, was alles z. B. der eine Ausdruck: normale reif zerschnittene Landmasse aus leicht geneigten Sandsteinschichten von mittlerer Gliederung und starkem Relief in sich begreift. Es ist klar, daß die Methode in vielfacher Hinsicht noch der weiteren Ausgestaltung sowohl nach der deduktiven wie

[1]) *Davis,* The geographical cycle in an arid climate. Journ. of Geol., XIII, 1905, pag. 381; Geographical Essays, Boston 1909, pag. 296. Siehe auch *Pumpelly,* Physiography of Central-Asian Deserts and Oases. In: Explorations in Turkestan, Expedition of 1905. Carnegie Institution, Washington 1908, Bd. II, pag. 243 ff.

[2]) Siehe z. B. *Huntington,* The basin of eastern Persia and Sistan. In: Explorations in Turkestan. Carnegie Institution. Washington 1905, pag. 219.

[3]) *Nussbaum,* Die Täler der Schweizer Alpen. Wiss. Mitt. d. Schweizer. Alpinen Museums in Bern, 1910, Taf. II.

nach der beobachtenden Seite hin bedarf. Zahlreiche Strukturtypen müssen noch in ihrer Entwicklung deduktiv verfolgt und Beispiele aus der Natur beigebracht werden, viele Entwicklungsreihen harren noch der Bearbeitung. Ist diese Arbeit einmal vollendet, dann wird man tatsächlich jede Oberflächenform, die in der Natur entgegentritt, in irgend eine Reihe einzuordnen vermögen. Die Methode ist in der letzten Zeit in den verschiedensten Ländern mit nicht geringem Erfolg angewandt worden, der Punkt, wo sie heute noch eigentlich völlig versagt, sind manche Teile der sogenannten jugendlichen Faltengebirge, und es ist allerdings die Frage, ob die Methode dieselben guten Dienste, die sie in einfacher gestalteten Gebieten schon geleistet hat, auch in diesen einmal zu leisten imstande sein wird.

# Zur Frage der funktionellen Psychosen.

Von **Oswald Bumke**, Freiburg i. B.

Es ist bekannt, daß sich dem Bestreben der wissenschaftlichen Psychiatrie, klinische Krankheitseinheiten kennen zu lernen und abzugrenzen, mehr Schwierigkeiten entgegenstellen, als es in anderen Gebieten der Medizin der Fall ist. Die langsamere Vorwärtsentwicklung dieser Disziplin ist nie bestritten und häufig beklagt und die Ursachen dieses schleppenden Tempos sind oft erörtert worden. Sie liegen zum Teil in der Sonder- und Doppelstellung, die die bald psychischen, bald körperlichen Symptome der Gehirnkrankheiten nun einmal besitzen, und in der besonderen Sprödigkeit, die psychologische Tatbestände ganz allgemein der exakten Analyse entgegensetzten. Aber dazu kommen äußere Gründe, die wenigstens früher vielleicht noch störender gewirkt haben. Die irrenärztliche Tätigkeit hat sich lange Zeit ausschließlich in großen Anstalten abgespielt, die, weitab von den Zentren des geistigen Lebens gelegen, Fühlung zu anderen wissenschaftlichen Fächern nicht leicht gewinnen konnten. Und noch heute läßt die relative Aussichtslosigkeit unserer therapeutischen Bemühungen eine der wichtigsten Triebfedern aller medizinischen Forschung allzu leicht unelastisch und lahm werden. Die besondere Pflege verwaltungstechnischer Fähigkeiten, die starke Betonung sozialer (z. B. forensischer) Aufgaben und die intensive Beschäftigung mit neurologischen oder etwa faseranatomischen Fragen sind oft genug nur Symptome dieser Resignation gewesen.

Wichtiger als diese sind endlich Faktoren, die sich schwerer oder überhaupt nicht ändern lassen. Ganz leichte Fälle von psychischer Störung, die für das Studium gewisser grundsätzlicher Fragen besonders wertvoll sind, werden durch strenge Aufnahmebestimmungen und noch mehr durch die Scheu des großen Publikums vor den Irrenanstalten der wissenschaftlichen Untersuchung sehr häufig entzogen. Und die lange Dauer der meisten Geisteskrankheiten macht es dem einzelnen Beobachter oft unmöglich, viele Krankheiten vom Beginn bis zum Ende zu verfolgen und das Ergebnis dieses klinischen Studiums mit dem der anatomischen Untersuchung zu vergleichen. Zwischen Gehirnkrankheit und Gehirnuntersuchung aber fällt ein Eingriff in die Intaktheit des Nervengewebes, der oft viel-

leicht viel gröber ist als alle Krankheitsprozesse vorher: der Tod. Wir wissen heute, wie außerordentlich empfindlich die nervösen Elemente schon auf vorübergehende und relativ leichte Schädigungen des Körpers (z. B. toxische) reagieren, und wir werden daraus folgern müssen, daß geringe Änderungen der histologischen Struktur durch das Aufhören jeden Stoffwechsels vielleicht doch sehr schnell überlagert oder sogar ausgewischt werden könnten.

Aber das alles erklärt eben nur das Tempo der bisherigen wissenschaftlichen Entwicklung, und gerade die Optimisten unter den Psychiatern berufen sich auf diese Schwierigkeiten, um zu zeigen, warum wir noch nicht weiter hätten kommen können. Es ist kein Zweifel, die Psychiatrie hat den Standpunkt, von dem aus die innere Medizin die Gelbsucht z. B. für eine Krankheit hielt, den Standpunkt einer rein symptomatologischen Betrachtungsweise, noch nicht ganz überwunden. Heute aber erhebt sich die Frage, ob sie diesen Standpunkt überhaupt je hinter sich lasen wird, und ob die Hoffnung, alle seelischen Störungen in Krankheitseinheiten zu zerlegen, nicht aus prinzipiellen Gründen für alle Zukunft aufgegeben werden muß.

Natürlich kennt die klinische Psychiatrie in sich geschlossene Krankheiten, die niemand antasten will. Die progressive Paralyse ist ätiologisch, symptomatologisch, dem Verlauf und der Anatomie nach so scharf umgrenzt, wie es nur irgend ein Leiden sein kann. Hier gibt es keine Übergänge: die traumatischen, die Blei-, die Alkoholparalysen sind aus der Diskussion verschwunden, und selbst die Unterscheidung nach verschiedenen Verlaufsformen ist heute nicht einmal didaktisch ganz brauchbar oder gar notwendig. Es gibt nur eine Gehirnerweichung, gibt nur den metasyphilitischen, paralytischen Hirnprozeß. Schon bei den senilen Verblödungsvorgängen liegen die Dinge etwas anders; hier kommen, klinisch und anatomisch, Übergänge vor, Übergänge zum normalen Greisentum. An der Einheit und Geschlossenheit jeder dieser Krankheiten jedoch – es gibt verschiedene senile Hirnkrankheiten — ändert das nichts: denn diese Übergänge beruhen im Grunde nur auf dem Vorkommen leichter Verlaufsformen, deren Erkennung auch in anderen Gebieten der Medizin nicht in jedem Falle möglich sein kann.

Für unsere Fragestellung wichtiger ist ein ganz anderer Gesichtspunkt, den *Hoche* wiederholt betont hat, und der sich gerade auf die Beurteilung der senilen Krankheiten anwenden läßt. Die Tatsache, daß es mehrere senile Hirnkrankheiten gibt, hat das Mikroskop aufgedeckt: klinisch sind wir weit davon entfernt, diese verschiedenen Formen auseinander zu halten, sie diagnostisch gegeneinander abzugrenzen. Und so beweist selbst das Beispiel der Paralyse noch nicht die prinzipielle Möglichkeit, psychische Krankheiten nach Symptomatologie, Verlauf und Ausgang einzuteilen, weil hier die geistige Störung nur eine und nicht etwa die einzige charakteristische Äußerung eines groben anatomischen Prozesses darstellt. Auch bei der multiplen Sklerose z. B. finden wir ja psychotische Symptome nicht gerade selten: wenn sie bei der Paralyse

regelmäßig angetroffen werden, so liegt das daran, daß hier ein diffuser Prozeß schließlich jedesmal das ganze Gehirn ergreift. Das Dogma aber, daß die geistige Störung auch in jedem Stadium der Gehirnkrankheit zutage treten müßte, hält den Tatsachen gegenüber nicht stand. Freilich vermögen wir heute die Diagnose der Krankheit Paralyse zuweilen schon aus dem psychischen Bilde allein zu schöpfen; die wissenschaftliche Abgrenzung des Leidens jedoch wäre ohne die Entdeckung seiner Anatomie niemals, und ohne die in den körperlichen Symptomen gebotene Hilfe zum mindesten wohl sehr schwer gelungen.

Immerhin könnten die Aussichten, alle vorkommenden Seelenstörungen in Krankheitseinheiten zu zerlegen, dann noch für relativ günstige gelten, wenn wir die bei der Paralyse gemachten Erfahrungen wenigstens verallgemeinern dürften. Es steht aber fest, daß dieser Analogieschluß nicht zulässig ist. Schon die Gruppe von Psychosen, die den grob organisch bedingten am nächsten steht, die der durch Infektionen und Intoxikationen verursachten Geisteskrankheiten, beweist, was die bei den senilen Demenzen gemachten Beobachtungen zunächst nur vermuten ließen: daß nämlich in der Psychiatrie verschiedenen „Ursachen" nicht stets auch verschiedene klinische Folgeerscheinungen entsprechen müssen. Natürlich kann das nur so zusammenhängen, daß diese Ursachen in Wirklichkeit nur ein Glied einer Kausalkette bilden, deren übrige Bestandteile uns mehr oder weniger unbekannt sind. Wir verdanken *Bonhoeffer* systematische klinische Untersuchungen über die exogenen Psychosen, über die Seelenstörungen, die durch Infektionskrankheiten, durch erschöpfende körperliche Leiden, durch Autointoxikationen infolge der verschiedensten Organerkrankungen, durch chronische Vergiftungen, schwere Hirntraumen und Strangulationshyperämien hervorgerufen werden. Alle diese Ursachen lösen gleichförmige und somit typische Reaktionen aus, die von der speziellen Form der Noxe verhältnismäßig unabhängig sind. Delirien, epileptiforme Erregungen, Dämmerzustände, Halluzinosen, Amentiabilder bald mehr halluzinatorischen, bald katatonischen, bald inkohärenten Charakters — das sind symptomatologisch die Erscheinungsformen dieser exogenen Krankheiten, und ihnen entsprechen bestimmte Verlaufsarten: kritischer oder lytischer Abfall, Entwicklung emotionell-hyperästhetischer Schwächezustände, amnestische Phasen von *Korsakow*schem Typus, Steigerungen zum Delirium acutum und zum Meningismus.

Die Hoffnung, für verschiedene Ätiologien grundsätzlich auch differente Krankheitsbilder und charakteristische Verlaufstypen zu finden, muß also aufgegeben werden, und möglich bliebe nur noch, daß für die Gestaltung des psychischen Bildes nicht die Art des Giftes, sondern seine Lokalisation im Gehirn maßgebend sein könnte. Daß es nach den bisherigen Erfahrungen nicht gerade aussichtsvoll ist, für eine solche Hypothese gesicherte Unterlagen zu finden, mag hier nur angedeutet werden. Um so stärker sei etwas anderes betont, was sich auch bei *Bonhoeffers* Untersuchungen herausgestellt hat: schon innerhalb des Rahmens, der die

exogenen Reaktionsformen umfaßt, kommen individuelle Unterschiede vor, die nur durch endogene Momente bedingt sein können; hier und da aber lösen äußere Veranlassungen Symptomkomplexe aus, die wir sonst überhaupt nur als Ausdruck einer persönlichen, ererbten Anlage aufzufassen gewohnt sind. Exogene und endogene Krankheitstypen sind also doch nicht ganz scharf voneinander unterschieden.

Insofern führt das Studium dieser exogenen Krankheiten, so viele Gesetzmäßigkeiten es auch aufdeckt, doch schon mitten hinein in das schwierigste und dunkelste Gebiet der Psychiatrie, in das der funktionellen, eben der endogenen Psychosen. Die naive Meinung, als ob jede Geistesstörung, die bei einem Trinker z. B. beobachtet wird, durch den Alkoholmißbrauch veranlaßt sein müßte, ist heute so sehr in Mißkredit gekommen, daß gelegentlich schon von einer Übertreibung nach der entgegengesetzten Seite gewarnt werden mußte. Beim Delir ist natürlich kein Zweifel möglich, bei den chronischen Anomalien der Alkoholisten dagegen ist zunächst beides denkbar: die Psychose Folge der Alkoholvergiftung oder aber die Trunksucht Symptom der psychischen Störung. Früher nahm man allzu einseitig stets das Erste an, heute schlägt das Pendel zurück und nun werden neben dem exogenen Moment des Alkoholmißbrauches auch die endogenen Faktoren untersucht, die diesen Mißbrauch erst möglich gemacht haben. Möglicherweise verleihen doch schon diese dem schließlich beobachteten Krankheitsbilde charakteristische Züge, die zu dem Alkohol selbst in keiner direkten Beziehung stehen. Selbstverständlich wirken bei der Entstehung der Trunksucht innere und äußere Ursachen immer zusammen, aber die einfache Überlegung, daß die Gelegenheit zum Trinken fast für jeden gegeben ist, legt den Gedanken nahe, daß das gewohnheitsmäßige Trinken selbst, mindestens in vielen Fällen, nicht sowohl die Ursache als der Ausdruck einer psychischen Störung sein mag. Die klinische Erfahrung *(Bonhoeffer, Heilbronner, R. Sommer, Schroeder)* hat das bestätigt und gelehrt, daß die meisten schweren Potatoren geborene Psychopathen sind und außer der Trunksucht noch andere Anzeichen einer ererbten nervösen Anlage aufweisen. Und der neueste Monograph der chronischen Alkoholpsychosen, *Stöcker*, geht über die Kritik der älteren Lehren, die in diesem Nachweise liegt, noch hinaus und meint: alle Säufer litten ursprünglich an irgend einer vom Alkohol unabhängigen, auch sonst bekannten Krankheitsform und sie müßten somit systematisch nach ganz anderen Gesichtspunkten in Krankheitsgruppen eingeordnet werden, als es bisher üblich war.

Das ist nur der letzte Schritt auf dem Wege einer Entwicklung, die sich im Laufe der letzten Jahrzehnte abgespielt hat. Ihr Wesen wird auch für den Fernerstehenden am besten an dem Beispiel der Beziehungen deutlich, die man früher und jetzt zwischen Epilepsie und Alkoholmißbrauch angenommen hat. Früher wurden epileptische Insulte bei einem Trinker zunächst als Symptom und damit als Folge der an sich ja schon nachgewiesenen exogenen Schädlichkeit gedeutet — heute sind wir

an dem Punkte angelangt, an dem die Epilepsie fast immer als genuine und somit als das Primäre erscheint und die sekundäre, symptomatische Alkoholepilepsie dementsprechend fast ganz verschwindet. Damit ist die Frage nach der Ätiologie dieser Störungen wiederum vertagt. Die Reizbarkeit der Trinker soll eine Äußerung des epileptischen Charakters, der pathologische Rausch ein epileptischer Dämmerzustand sein und der dipsomanische Anfall ebenfalls ein epileptisches Äquivalent, eine epileptische Verstimmung darstellen. Das ist nur ein Beispiel; joviale, liebenswürdige und geistreiche Trinker werden als manische, in der Stimmung schwankende als zirkuläre und blöde und stumpfe endlich als früh verblödete (Dementia praecox-) Kranke aufgefaßt.

Dieser Wandel der Anschauungen beweist schon, welche Rolle das endogene, persönliche Moment in der heutigen Psychiatrie spielt, und er läßt zugleich die außerordentlichen Schwierigkeiten erkennen, mit denen die Erforschung dieses Faktors und der Versuch einer reinlichen Trennung von endogen und exogen zu rechnen hat. Dieser Versuch ist nur dann aussichtsvoll, wenn sich innerhalb der nur endogen bedingten Seelenstörungen Krankheitseinheiten erkennen lassen, wenn die Formen, in denen ererbte psychopathologische Anlagen in die Erscheinung zu treten pflegen, scharf umrissen werden können. Ist das nicht möglich, gibt es hier keine Krankheiten, sondern nur unendlich mannigfache Syndrome, individuell variable Symptomenverkuppelungen, dann werden sich auch die exogenen Reaktionsformen nicht ganz isoliert darstellen, nicht ganz herausschälen lassen. Daß das persönliche Moment auch hier modifizierend wirkt, ist unbestritten und versteht sich beinahe von selbst; lassen sich also gesetzmäßige Gestaltungen der endogenen Anlage nicht feststellen, so wird auch die Klinik der exogenen Krankheiten darunter leiden müssen.

So ist die dringendste Frage der wissenschaftlichen Psychiatrie die nach den funktionellen, den endogenen Psychosen. Gibt es hier Krankheitseinheiten, die sich nach Gestaltung, Verlauf und Ausgang abgrenzen und voneinander trennen lassen, wie croupöse von Bronchopneumonien, syphilitische von tuberkulösen Leiden unterschieden worden sind?

Es ist noch nicht lange, daß die Frage in dieser Form überhaupt gestellt wird. Daß es Krankheiten dieser Art gibt, galt bis vor kurzer Zeit als selbstverständlich, und nur darüber wurde gestritten, ob man sie schon kannte. Vor wenigen Jahren hat dann *Hoche* die Überzeugung geäußert, „daß das Suchen nach reinen Krankheitstypen (sc. außerhalb des Gebietes der organischen Psychosen) die Jagd nach einem Phantom darstellt“ und daß sich die „im Prinzip heilbaren, d. h. einen günstigen Ausgang erreichenden Seelenstörungen“ in natürliche Krankheitseinheiten nicht werden zerlegen lassen. Natürlich glaubt auch dieser Autor an irgend welche vorhandene und auch irgendwie erkennbare Gesetzmäßigkeiten in der Gestaltung und im Verlauf der Seelenstörungen, aber man würde sie dort nicht finden, wo man sie bisher vergeblich gesucht habe. Die bis-

herigen großen Krankheitsbilder hätten sich als zu ausgedehnt erwiesen, um Einheiten darzustellen. Die einzelnen Elementarsymptome wiederum seien zu klein. Man solle den Versuch machen, Einheiten zweiter Ordnung zu finden, gewisse immer wiederkehrende Symptomverkuppelungen, die wir sehen lernen werden, wenn die Aufmerksamkeit darauf eingestellt ist. So sei jetzt schon die Krankheit Hypochondrie verschwunden und nur das hypochondrische Syndrom: ein objektiv unbegründetes Krankheitsgefühl, Neigung zu wahnhafter Auffassung der Vorgänge des eigenen Körpers, depressive Stimmungslage, sei übrig geblieben und werde bei allen möglichen Krankheiten — organischen und funktionellen — beobachtet. Die Krankheit Neurasthenie habe das gleiche Schicksal schon durchgemacht und die Hysterie gehe ihm entgegen. Auch hier gäbe es nur noch Zustandsbilder, die in adjektivischer Form als neurasthenisch bzw. hysterisch bezeichnet würden. Betrachteten wir die übrigen Geisteskrankheiten unter dem gleichen Gesichtswinkel, so höben sich ohne weiteres noch zahlreiche Symptomverkuppelungen dieser Art heraus. Manische, melancholische, delirante, paranoische und katatonische Zustandsbilder seien jedem geläufig; und sicherlich werde es möglich sein, in sehr viel größerer Zahl solche Syndrome kennen zu lernen, aus deren Zusammentreten sich dann das entwickle, was uns heute in manchen Fällen als klinische Krankheitseinheit imponiert habe.

Der Widerspruch, den diese Anschauungen im Anfang fanden, ist inzwischen viel weniger lebhaft geworden. Strenge Anhänger der *Kraepelin*schen Schule geben zu, daß innerhalb der funktionellen Psychosen scharfe Grenzlinien nicht gezogen werden können, und nur in den letzten radikalen Schlüssen über die grundsätzliche Möglichkeit klinischer Unterscheidungen sind *Hoche* bisher wenige gefolgt. Die Behauptung aber, daß die Existenz solcher Krankheitseinheiten keine Notwendigkeit, keine selbstverständliche Wahrheit bedeutet, wird heute kaum noch auf Widerspruch stoßen. Für die ganz unvoreingenommene Betrachtung besteht jedenfalls die Möglichkeit, daß die Erscheinungsformen abnormer psychischer Anlagen genau so mannigfaltig sind, wie die Individualitäten gesunder menschlicher Charaktere. Und der Versuch, in den unendlichen Reichtum der auf normalem psychischen Gebiete vorkommenden persönlichen Formen durch die Aufstellung angeblich in sich gleichartiger Gruppen systematische Ordnung zu bringen, ist bisher stets fehl geschlagen. Es gibt keinen Kanon des normalen seelischen Geschehens, es gibt nur Individualitäten, deren Zahl nicht viel kleiner sein wird als die Zahl der lebenden Menschen.

Die Parallele zeigt, daß die Frage nach dem Vorkommen endogener Krankheitseinheiten mitten hineinführt in das Problem von dem innersten Wesen dieser Geistesstörungen überhaupt. Nach dem oben Ausgeführten versteht es sich von selbst, daß wir von organischen Hirnkrankheiten von dem Typus der Paralyse und von exogenen Leiden von der Art des Alkoholdelirs in diesem Zusammenhange absehen, und nur von den Seelenstörungen handeln, die wir — vorläufig ohne Definition — als

funktionelle, endogene bezeichnen. Zwischen den beiden ersten Gruppen besteht kein prinzipieller Unterschied, sie gehen ineinander über, und nur aus praktischen Gründen wird hier der ätiologische, dort der pathologisch-anatomische Gesichtspunkt stärker betont. Bestehen ähnliche Beziehungen zwischen allen überhaupt vorkommenden Seelenstörungen, können Manien, Melancholien, Hysterien z. B. nach denselben Grundsätzen beurteilt werden wie organische und exogene Geisteskrankheiten? Die Frage ist identisch mit der: ob sich auch ihre Psychopathologie vom gesunden Seelenleben qualitativ unterscheidet, oder physiologisch gesprochen: ob auch bei ihnen etwas Fremdes, etwas prinzipiell Neues den Gehirnmechanismus verändert. Ist das der Fall, so könnte es Krankheitseinheiten geben, weil gleiche bzw. ähnliche pathologische Ursachen doch wenigstens annähernd analoge klinische Folgen auch bei verschiedenen Individualitäten nach sich ziehen würden. Handelt es sich aber nur um quantitative Unterschiede, sind diese Formen seelischer Krankheit mit den normalen Charakteren durch fließende Übergänge verbunden, dann ist die Hoffnung auf geschlossene Krankheitseinheiten um vieles weniger begründet; wahrscheinlich wäre dann nur noch die Existenz relativ häufiger Durchschnittstypen, um die sich die überhaupt vorkommenden Fälle mit mehr oder weniger Zwang gruppieren ließen — so etwa, wie innerhalb der Gesundheitsbreite cholerische, phlegmatische und andere oft beobachtete Temperamente als Orientierungspunkte für die nicht absolut lösbare Aufgabe einer differentiellen Psychologie zu dienen vermögen.

Es ist nicht ganz richtig, wenn man in der Anerkennung dieser Möglichkeit eine vollkommene Resignation der wissenschaftlichen Psychiatrie, einen absoluten klinischen Nihilismus erblicken will. Man denke nur an das Beispiel der Zoologie und der Botanik, die auch unter dem Zeichen der Entwicklungslehre an der Unterscheidung von Arten und Formen festgehalten haben. Aber das ist gewiß zuzugeben, daß mit der Hoffnung auf scharf getrennte Krankheitseinheiten zunächst wenigstens auch die aufgegeben werden müßte, die unter allen ärztlichen Disziplinen gerade die therapeutisch hilfloseste, die Psychiatrie, besonders ungern begraben würde: die einer möglichst sicheren Prognosestellung für jeden vorkommenden Krankheitsfall. Das zu erreichen, war das bewußt angestrebte erste Ziel der durch *Kraepelin* inaugurierten „klinischen" Forschungsrichtung, und die bisherigen Erfolge dieser wissenschaftlichen Schule rechtfertigen gewiß die Abneigung gegen die resignierende Erkenntnis, daß auch diese Methode die Grenzen ihres Können schon erreicht habe.

Trotzdem wird wenigstens aus diesen bisherigen Erfolgen auf weitere Fortschritte der gleichen Art nicht unbedingt geschlossen werden können. *Kraepelin* hat die Psychiatrie aus einem Zustande allzu großer Selbstbescheidung herausgeführt, in dem überhaupt nur deskriptive Zwecke verfolgt wurden. Der diagnostischen Arbeit jener Zeit genügte es, das Symptomenbild, das ein Kranker bot, annähernd zutreffend geschildert und benannt zu haben. Trat ein Wechsel im Krankheitsbilde ein, so wurde

auch die Diagnose geändert, und so konnte ein und derselbe Patient nacheinander an „Melancholie", „Hypochondrie" und „Paranoia" leiden, um schließlich in „sekundäre Demenz" zu verfallen.

Hier setzte *Kraepelins* Arbeit zunächst ein, und hier errang sie den ersten großen, bleibenden Erfolg. Die Absicht, nach Verlauf und Ausgang zusammengehörige Krankheiten zu klinischen Einheiten zusammenzufassen, ließ zunächst heilbare von unheilbaren Psychosen scheiden, die Verblödungsprozesse als etwas Besonderes herausheben. So entstand die Dementia praecox. Das ist auch heute noch keine klinische Einheit wie etwa die Paralyse. Wir kennen weder die Ätiologie noch die pathologisch-anatomische Grundlage dieser Krankheit, die Pathogenese ist vollkommen dunkel, und nicht einmal die Abgrenzung des Leidens von allen übrigen Psychosen ist gelungen. Der Begriff der Dementia praecox wird bald so weit gefaßt, daß von anderen (funktionellen) Psychosen nicht viel mehr übrig bleibt, bald so sehr eingeengt, daß eine von *Kraepelin* besonders geschilderte Verlaufsform, die Dementia paranoides, überhaupt ausgeschlossen wird. *Kraepelins* eigene Lehre steht etwa in der Mitte zwischen beiden Extremen. Wer Recht hat, läßt sich heute nicht entscheiden, eben weil uns bisher weder die Ätiologie noch die Anatomie Anhaltspunkte für die Abgrenzung der Krankheit geliefert haben. Und doch steht das fest, was vom prinzipiellen Standpunkte aus allein wichtig ist: daß es überhaupt eine Dementia praecox gibt. Die ältere Psychiatrie sprach wie gesagt von sekundärer Demenz in diesen Fällen und meinte damit: ein Gehirn sei weniger widerstandsfähig als das andere, und so vermöchte dieselbe Krankheit hier zu heilen, dort intellektuelle und ethische Defekte zu hinterlassen. Durch den (tatsächlich geführten) Nachweis von pathologisch-anatomischen Veränderungen im Gehirn verblödeter Kranker allein könnte diese Anschauung natürlich nicht widerlegt werden. Weniger leicht würde sie sich schon mit den körperlichen Veränderungen abfinden können, die, z. B. an den Pupillen, in relativ frühen Stadien der Krankheit neuerdings gefunden worden sind. Entschieden aber hat das Problem der Dementia praecox erst die nach unserem Dafürhalten feststehende Tatsache, daß sich der ungünstige Ausgang in bestimmten typischen Fällen aus dem psychischen Symptomenbilde allein, und wiederum schon im Beginn des Leidens mit annähernder Sicherheit erschließen läßt. Bei allen Fällen dieser Art muß ein und dieselbe Krankheit vorausgesetzt werden. Die Grenzen ihres Vorkommens aber werden sich — wahrscheinlich mit Hilfe des Mikroskops — später feststellen lassen.

Damit ist der Dementia praecox ihre systematische Stellung schon zugewiesen: sie gehört zu den organisch bedingten Psychosen. Auch wenn anatomische Befunde bisher nicht vorlägen (was tatsächlich der Fall ist), so würde allein aus der Tatsache, daß das Leiden gesetzmäßig zu intellektuellen Defekten Veranlassung gibt, auf organische Gehirnveränderungen geschlossen werden müssen. Daraus folgt aber, daß das Beispiel dieser Krankheit für die grundsätzliche Möglichkeit, alle überhaupt vorkommenden

Geisteskrankheiten in klinische Einheiten aufzulösen, nicht viel mehr beweist, als das der Paralyse. Analogieschlüsse von der Dementia praecox auf die übrigen (funktionellen) Psychosen wären nur dann zulässig, wenn wir auch bei diesen mit gleichem Rechte und im gleichen Sinne organische Gehirnveränderungen voraussetzen dürften. Gilt diese Voraussetzung nicht, so wird die Frage der funktionellen Psychosen durch die Lösung des Dementia praecox-Problems vereinfacht, aber nicht gefördert. Je mehr organisch bedingte Krankheiten sich abgrenzen lassen und je kleiner der Kreis der funktionellen Seelenstörungen dadurch wird, um so übersichtlicher wird dieses ihr Gebiet; die prinzipiellen Schwierigkeiten jedoch, die diese Formen seelischer Anomalien der klinischen Forschung bereiten, werden durch alle diese Vorarbeit nicht aus dem Wege geräumt, ja nicht einmal berührt. Sie würden selbst in dem (unmöglichen) Falle fortbestehen, daß bei fortschreitender Erkenntnis die funktionellen Seelenstörungen ihrer Häufigkeit nach schließlich einmal gar keine Rolle mehr spielen und sich etwa in dem erschöpfen sollten, was wir heute hysterisch zu nennen pflegen.

Was heißt funktionell? Was sind funktionelle Geisteskrankheiten?

Bis vor kurzem hat das Wort in der Psychiatrie nicht mehr als ein Fragezeichen bedeutet. Funktionelle Nerven- und Geisteskrankheiten waren solche, deren Anatomie man noch nicht kannte. Insofern handelte es sich um einen relativen und flüssigen, an dem zufälligen Stande unseres Wissens orientierten Begriff. Den funktionellen Psychosen eine pathologisch-anatomische Grundlage überhaupt abzusprechen, das wäre in dieser Zeit ein Wagnis gewesen, das seinem Urheber allen wissenschaftlichen Kredit geraubt hätte. *Nissl*, der Begründer der modernen Histopathologie der Hirnrinde, hat damals vorgeschlagen, diesen Begriff der funktionellen Geisteskrankheiten ganz aufzugeben, weil er nur Verwirrung schüfe und immer wieder zu dem „fundamentalen Irrtum" Anlaß gäbe, „daß der psychische Mechanismus durch die Geisteskrankheiten nicht verändert wird und identisch ist mit dem Mechanismus des geistig normalen Menschen". Es sei eine Inkonsequenz, die funktionellen Psychosen als organisch bedingte Seelenstörungen mit noch nicht bekannter Anatomie zu definieren und trotzdem in der psychologischen Analyse der Krankheiten zwischen organischen und funktionellen Leiden grundsätzlich zu unterscheiden. In Wahrheit sei sogar die Hysterie eine Störung, deren Grundlage pathologisch-anatomisch ebenso faßbar sei, wie die der Paralyse; der Versuch, die Symptome dieser Krankheit psychologisch zu deuten, sei also ebenso aussichtslos und unwissenschaftlich, wie etwa ein analoges Bestreben den psychischen Erscheinungen der Gehirnerweichung gegenüber.

Das war vor etwa zehn Jahren. Seitdem haben sich unsere Anschauungen so gründlich gewandelt, daß heute in einem programmatischen Aufsatz (zur Eröffnung einer neuen Zeitschrift) der Psychiatrie vorgeschlagen wird, nicht nur „die psychischen Krankheiten genau so zum

Gegenstand psychologischer Beschreibung und Erklärung zu machen, wie es die Psychologie mit dem normalen Seelenleben tut", sondern zugleich: „auch die letzte Einstellung auf das Gehirn aufzugeben, das Gehirn dem Anatomen auszuliefern, das Seelenleben des Kranken aber für den Pathopsychologen zu reservieren, der sich zur Aufgabe zu machen hat, die Störungen dieses Seelenlebens ausschließlich aus ihm selbst und all dem zu begreifen, was auf dieses Seelenleben unmittelbar eingewirkt hat".

Die Kritik von wissenschaftlichen Anschauungen, die zwischen diesen extremen Polen hin und her schwanken, wird wohl am einfachsten der historischen Entwicklung folgen, die diesen Wandel herbeigeführt hat.

Fast unmittelbar nach *Nissls* erwähntem Vortrag hat *Hoche* in einem Referat den grundsätzlichen Unterschied zwischen den Neurosen Epilepsie und Hysterie hervorgehoben. Er widerlegt die Existenz einer Krankheit: Hysteroepilepsie. „Epilepsie und Hysterie sind prinzipiell verschiedene Neurosen; die reine Hysterie ist funktioneller Natur in dem Sinne, daß sie eine pathologische Anatomie weder besitzt, noch jemals besitzen wird. Die Epilepsie ist funktionell nur in dem Sinne, daß wir die ihr zugrunde liegenden Veränderungen noch nicht kennen."

Hier war zum ersten Male — zum mindesten seit langer Zeit wieder die Rede von einer psychischen Krankheit, die eine pathologische Anatomie niemals besitzen würde. *Hoche* ist dabei nicht stehen geblieben. 1906 hat er auf der Münchener Jahresversammlung des deutschen Vereines für Psychiatrie das Dogma von der pathologisch-anatomischen Bedingtheit aller funktionellen Psychosen in viel allgemeinerer Form entschieden bekämpft. Der Zweifel galt selbstverständlich nicht den Krankheiten, die mit einem psychischen Defekt zu enden pflegen, und für die deshalb eine anatomische Basis vorausgesetzt werden darf; und er bezog sich ebenso selbstverständlich nicht auf die grundsätzliche Überzeugung von dem Zusammenhang alles psychischen Geschehens mit materiellen Gehirnvorgängen überhaupt. Nur die Behauptung, daß allen Seelenstörungen pathologische Gehirnprozesse etwa nach Art des paralytischen zugrunde liegen, sollte entschieden bestritten und daraus zugleich die Frage abgeleitet werden, „ob wir überhaupt irgend welche Hoffnung haben, aus der pathologischen Anatomie Hilfe für die Sonderung unserer Krankheitsbilder im allgemeinen zu bekommen". „Für alles, was mit Defekt endet", so hat der Autor 1909 seinen Standpunkt noch einmal formuliert, „ist wenigstens eine pathologisch-anatomische Einheit möglich und wahrscheinlich. Aber gerade diejenigen Formen von Seelenstörungen, für welche wir eine solche anatomische Basis teils kennen, teils voraussetzen, sind in dem Zusammenhang dieser Erwägungen besonders instruktiv. Gerade die mit Defekt ausgehenden Zustände, speziell die Fälle von Dementia paralytica, Dementia senilis und Dementia praecox . . . . . zeigen, daß sie in besonderem Maße die Neigung haben, symptomatologisch in allen möglichen Farben zu schillern. Alle oder wenigstens fast alle sonst regelmäßig vorkommenden Krankheitszustände mit Stimmungsanomalien, Sinnestäuschungen usw. treten

bei diesen chronischen organischen Hirnkrankheiten auf. Der groben anatomischen Veränderung entspricht die immer wiederkehrende Reihe derjenigen klinischen Erscheinungen, die das Krankheitsbild als roter Faden durchziehen, nämlich der fortschreitende Verfall der psychischen Persönlichkeit, während der anatomische Prozeß im übrigen von den verschiedensten Symptomen und Symptomenkombinationen begleitet wird. Erwägungen dieser Art haben es mir schon lange grundsätzlich im höchsten Maße zweifelhaft gemacht, ob wir überhaupt irgend welche Hoffnung haben, aus der pathologischen Anatomie Hilfe für die Sonderung unserer Krankheitsbilder im allgemeinen zu bekommen, namentlich da alle lokalisatorischen Bemühungen den größten prinzipiellen Bedenken begegnen."

Auch diese Anschauungen *Hoches* haben energischen und ziemlich allgemeinen Widerspruch hervorgerufen. Auf der anderen Seite würde jedoch auch *Nissls* oben erwähnte Parallele zwischen Paralyse und Hysterie heute kaum noch Anklang finden. Trotz aller Differenzen über sonstige Grundanschauungen steht das eine fest: daß organisch bedingte und funktionelle Psychosen prinzipiell, aus inneren Gründen auseinander gehalten werden müssen. Nicht in unserem zufälligen Wissen oder Nichtwissen um die Anatomie der Psychosen liegt der Unterschied, sondern darin, daß die funktionellen Seelenstörungen eine Anatomie im Sinne der progressiven Paralyse gar nicht haben können. Wir sind weiter als je davon entfernt, den Begriff der funktionellen Psychosen aufzugeben.

Einem Mißverständnis muß hier begegnet werden. Der neue Inhalt, den das Wort funktionell in der Psychiatrie erhalten wird, widerspricht nicht etwa der Lehre vom psychophysischen Parallelismus. Wer diese Hypothese aufgeben wollte, würde damit nichts weniger als den Verzicht auf die naturwissenschaftliche Behandlung psychiatrischer Probleme überhaupt proklamieren. Insofern wird der Satz „Geisteskrankheiten sind Gehirnkrankheiten" immer Geltung behalten, und wenn *W. Specht* vorschlägt, die Geistesstörungen in Zukunft in Hirnkrankheiten und psychische Krankheiten zu trennen, so wird er zum mindesten mit dieser unlogischen Formulierung eines im Kern richtigen Gedankens in ärztlichen Kreisen auf Gefolgschaft nicht rechnen dürfen. Der Autor meint, die Überzeugung, daß auch die funktionellen Krankheiten „Erscheinungsformen von Hirnrindenprozessen" seien, habe die Psychiater geradezu auf Irrwege geführt — seine Fachgenossen werden ihm entgegenhalten, daß die von ihm gegebenen Beweise für diese Behauptung nicht schlüssig sind, und daß gerade die Psychiatrie keinen Anlaß hat, die handgreiflichen Belege für den Zusammenhang — irgend eine Art von Zusammenhang — zwischen psychischem und physischem Geschehen philosophischen Spekulationen zu Liebe zu ignorieren. Die spezielle Gestaltung der Lehre vom psychophysischen Parallelismus (oder Monismus) ist für die Psychiatrie vollkommen gleichgültig; ob das Psychische als „Epiphänomen", als Funktion des Körperlichen angesehen wird oder nicht, darauf kommt es nicht an, aber die

„Einstellung auf das Gehirn ganz aufgeben", das wird niemand wollen, der Arzt und der Naturwissenschaftler zu bleiben beabsichtigt.

Also das ist unumstößliche Voraussetzung: alles seelische Geschehen ist an materielle Vorgänge im Gehirn gebunden, und bei verschiedenen psychischen Vorgängen werden wir differente physiologische Ereignisse im Cerebrum voraussetzen müssen. Das gilt schon für zwei sehr unähnliche gesunde Naturen, für verschiedene Temperamente also, und das gilt selbstverständlich in noch stärkerem Maße für normale Menschen auf der einen und abnorme — hysterische, paranoische oder melancholische — auf der anderen Seite. Die Frage ist nur, ob wir in diesen Fällen „funktioneller" Seelenstörungen ebenso wie bei der Paralyse einen grundsätzlich veränderten Gehirnmechanismus erwarten dürfen oder nicht. *Nissl* setzt das voraus, *Hoche* hat es bestritten: heute kann wenigstens das eine gesagt werden, daß *Nissls* Ansicht nicht notwendig richtig sein muß. Möglich ist es jedenfalls, daß das kranke physiologische Geschehen mit dem gesunden durch unmerkliche Übergänge verbunden ist, und daß sich eine scharfe Grenze zwischen „normal" und „abnorm" auf nervösem Gebiete auch anatomisch nicht ziehen lassen wird.

„Über die materiellen Hirnvorgänge bei der Hysterie werden wir erst dann Aufschluß erhalten, wenn das materielle Geschehen bei Seelenvorgängen überhaupt sich uns erschlossen haben wird: die Aussichten sind demnach nicht glänzend." So hat *Hoche Nissls* Hoffnung auf eine pathologische Anatomie dieser Krankheit, der funktionellen Geisteskrankheit κατ' ἐξοχήν, zurückgewiesen. Daß er darin Recht hatte, wird angesichts der Flüchtigkeit dieses Krankheitsbildes und der Suggestibilität der hysterischen Symptome heute kaum noch jemand bestreiten wollen. Aber müssen wir darum diese skeptische Auffassung nun auch auf die übrigen funktionellen Psychosen übertragen? Daß die bisherigen Resultate der histologischen Forschung wohl eine Anatomie der Paralyse, nicht aber materielle Veränderungen auch bei Manien und Melancholien z. B. aufgedeckt haben, wird niemand, der die besonderen Schwierigkeiten dieses Arbeitsgebietes kennt, gegen *Nissls* Auffassung anführen wollen. Wohl aber könnte die klinische Beobachtung, könnte die psychologische Analyse der funktionellen Geisteskrankheiten genügende Anhaltspunkte zur Beurteilung ihres innersten Wesens und damit auch die Möglichkeit bieten, die prinzipielle Frage nach der Anatomie zu beantworten. Kann es sich bei den Hirnkrankheiten, die wir an sich auch hier voraussetzen müssen, um Prozesse handeln, die ein vorher intaktes Gehirn umgestalten und grundsätzlich neue materielle Bedingungen des psychischen Lebens schaffen? Oder liegt es nicht näher, Anomalien vielleicht überhaupt nicht der Struktur, sondern der Funktion anzunehmen, die — ohne scharfe Grenze gegen das Gesunde — nur quantitative Abweichungen vom normalen Verhalten, Spielarten der gesunden physischen Anlage darstellen?

Die Antwort werden, wie gesagt, die klinischen Tatsachen geben müssen.

Bei der Paralyse, bei der Hirnarteriosklerose, bei Tumoren und nach manchen Traumen, bei vielen Vergiftungen und bei der Dementia praecox greift ein grober pathologischer Prozeß ein in den gesunden Hirnmechanismus, zerstört ihn oder stört ihn wenigstens. Der Erfolg auf psychischem Gebiete ist etwas prinzipiell Neues, er besteht in Ausfallserscheinungen und anderen groben Störungen, in Symptomen, die dem vom Normalen ausgehenden psychologischen Verständnis unüberwindliche Hindernisse bereiten. Wir registrieren die psychischen Veränderungen dieser Kranken und suchen sie im Sinne einer nach neurologischen Gesichtspunkten orientierten Hirnpathologie in Elementarsymptome zu zerlegen, aber nachempfinden können wir sie nicht. Hier gibt es keine Brücke zwischen „gesund" und „krank", und wo in einem speziellen Falle Zweifel in dieser Hinsicht doch entstehen, da beruhen sie nur auf der Unzulänglichkeit unseres augenblicklichen diagnostischen Könnens.

Nun steht es aber im allgemeinen, als Ergebnis der Betrachtung aller überhaupt vorkommenden Fälle, ganz fest, daß gerade in der Psychiatrie scharfe Grenzen zwischen Gesundheit und Krankheit nicht existieren. Sie werden verwischt und verdeckt durch eine große Gruppe von Individuen, die einzelne oder mehrere abnorme psychische Züge in allen denkbaren Graden der Stärke und in allen möglichen Formen der Verteilung neben gesunden Eigenschaften aufweisen, und die überdies in dieser Mischung von gesunden und kranken Qualitäten zu verschiedenen Zeiten noch Schwankungen durchmachen. Hier muß der Versuch einer scharfen Grenzbestimmung notwendig etwas Künstliches und Gezwungenes in das natürliche Geschehen hineintragen, weil uns kein klinisches Wissen lehren kann, wann eine Abweichung vom normalen, durchschnittlichen Verhalten die Bezeichnung, die Etikette „geisteskrank" zu rechtfertigen beginnt.

Das Studium der einzelnen psychopathologischen Erscheinungen hat zu einem ganz ähnlichen Ergebnis geführt. So auffallend Wahnvorstellungen, Sinnestäuschungen, Stimmungsanomalien und Willensstörungen, um nur einiges zu nennen, die psychische Persönlichkeit eines Menschen umgestalten können, wenn sie erhebliche Grade erreichen; bei der wissenschaftlichen Analyse, die den feinsten und ersten Äußerungen dieser Störungen nachspürt, verschwindet jedes einzelne schließlich in der Psychologie des gesunden Menschen. Also hier gibt es Übergänge, und gerade darauf beruht ja die besonders schwierige Stellung des Psychiaters der Öffentlichkeit gegenüber, die ihm auf Grund irrtümlicher Voraussetzungen mit der falsch gestellten Frage „geisteskrank oder nicht" oft genug eine prinzipiell unlösbare Aufgabe zuweist.

Wenn wir nun aber Grenzfälle dieser Art im einzelnen betrachten, so stellt sich jedesmal ihre Zugehörigkeit zu eben den Krankheitsgruppen heraus, die die heutige Psychiatrie als funktionelle bezeichnet. Die Verkennung einer beginnenden Paralyse wird man niemals mit der grundsätzlichen Unmöglichkeit psychiatrischer Grenzbestimmungen, sondern stets nur mit den Mängeln unserer heutigen Diagnostik entschuldigen wollen.

Wo sich praktische Schwierigkeiten dieser Art nicht nur jetzt, sondern immer ergeben werden und müssen, da handelt es sich um Krankheitsformen, die die moderne Nomenklatur als Manien, Melancholien oder manisch-depressives Irresein, als Paranoia, als Querulantenwahn, als Hysterie oder Entartungsirresein im engeren Sinne bezeichnet.

Wir werden die Frage, ob diese Störungen wirklich unter grundsätzlich anderen Gesichtspunkten betrachtet werden müssen, als die organischen Psychosen, nicht beantworten können, ohne in Kürze auf ihre Symptomatologie und ihren Verlauf eingegangen zu sein.

Mit den „affektiven" Störungen mag begonnen werden. Das Wesentliche bei der Melancholie ist eine in äußeren Ursachen nicht begründete traurige Verstimmung, ein schwerer depressiver Affekt, aus dem heraus eine trübe Auffassung der eigenen Lage, Versündigungsideen, soweit es die Vergangenheit, und ängstliche Befürchtungen, soweit es die Zukunft angeht, erwachsen. Der spezielle Inhalt dieser Wahnideen ist zufällig und von der persönlichen Lebenserfahrung des Patienten abhängig; gesetzmäßig ist dagegen die häufige Entstehung dieser kranken Vorstellung aus Erinnerungsfälschungen. Die veränderte Stimmungslage und die Angst veranlassen den Kranken, nach entsprechenden Motiven dafür in seinem früheren Leben zu suchen, und er findet sie, weil ihn seine Krankheit zwingt, alle Erlebnisse und Handlungen im Lichte dieser pessimistischen Auffassung rückläufig zu betrachten. Im übrigen geht der traurigen Verstimmung häufig eine psychomotorische Hemmung parallel: alle Bewegungen werden langsam ausgeführt, jede Lageänderung wird möglichst vermieden, die Sprache ist leise und nur auf das absolut Notwendige beschränkt. Daneben besteht eine vom Patienten als solche empfundene, aber auch objektiv nachweisbare Verlangsamung (Hemmung) der Denkvorgänge: die Kranken müssen sich mühsam auf das, was sie sagen wollen, besinnen und sie klagen darüber, daß ihnen gar nichts mehr einfiele. Bei einer anderen Form, in der die Melancholie auftritt, finden wir jedoch gerade das entgegengesetzte Verhalten: lebhafte Agitation als Ausdruck der ängstlichen Erregung, lautes Jammern, Umherlaufen und andere Bewegungen, die offenbar der inneren Spannung Luft machen sollen.

Die Manie ist das gerade Gegenstück dieser Krankheit: sie ist definiert durch die abnorm heitere Stimmung, das gehobene Selbstgefühl, den Bewegungs- und Rededrang und durch eine sehr eigentümliche, „ideenflüchtige" Art des Denkens. Äußerlich ähnelt das Bild eines leicht manischen Kranken am meisten dem eines mäßig berauschten Menschen.

Nun ist es seit langem bekannt, daß Manien und Melancholien in sehr ausgesprochener Weise zu periodischem Auftreten neigen. Wer eine Manie oder Melancholie überstanden hat, ist gefährdet, von der einen oder anderen Psychose wieder befallen zu werden. Man spricht dann von periodischer Melancholie oder Manie oder, wenn beide Krankheiten bei demselben Individuum abwechseln, von zirkulärem Irresein. *Kraepelin* aber

hat alle diese Formen einschließlich der „einfachen" Manien und Melancholien unter dem Namen des manisch-depressiven Irreseins zu einer Krankheitseinheit zusammengefaßt und er hat uns damit den Blick für etwas eröffnet, was bis dahin übersehen worden war, und was für unsere Zwecke hier besonders wichtig ist: die manisch-depressiven Mischzustände.

Als Prototyp dieser Zustände sei hier nur der eines manischen Kranken angeführt, dessen Körperbewegungen gehemmt und dessen Gedanken doch ideenflüchtig sind. Aus solchen Mischungen resultieren dann Bilder, die von dem einfachen Schema der Melancholie oder der Manie ziemlich weit abweichen. Die Erkennung dieser Zustände wird aber oft genug noch durch anderes erschwert und auch das muß im Zusammenhang dieser Arbeit besonders hervorgehoben werden. Häufig bestehen leichte manische oder melancholische Züge bei einem Menschen dauernd, habituell, so daß niemand etwas anderes als eine persönliche Eigentümlichkeit darin sehen möchte. Bis heute besitzen wir kein Kriterium, das uns diese Menschen, deren Krankheit später in einer ausgesprochenen Attacke manifest wird, von den heiter oder von den ernst veranlagten Individualitäten unterscheiden ließe, die den Verdacht einer ausgesprochenen Seelenstörung niemals erwecken. Sehr wahrscheinlich werden wir solche Kriterien niemals kennen lernen, weil sie nicht existieren. Jedes einzelne Krankheitssymptom des manisch-depressiven Irreseins wurzelt im gesunden Seelenleben; ja auch der Verlauf des Leidens läßt bei näherer Betrachtung eine innige Verwandtschaft mit gewissen durchaus normalen Erscheinungen gesunder Menschen erkennen. Zwischen echtem zirkulären Irresein mit zwei oder drei Attacken im Leben und den leichten Stimmungsschwankungen nervöser Individuen bestehen nur graduelle Unterschiede: jenseits dieses Gebietes der nervösen Konstitutionen aber folgt eben unmittelbar und wieder ohne trennenden Grenzwall das der normalen Psychologie, die das Vorkommen periodischer Stimmungsschwankungen auch bei ganz gesunden Menschen längst nachgewiesen hat. So bedeutet der Begriff der Periodizität nichts absolut Krankhaftes und, wie gesagt, genau so ist es allen anderen Symptomen dieser „Krankheitseinheit" ergangen. Bis vor kurzem galt noch die psychomotorische Hemmung als ein zuverlässiges, pathognomisches Kriterium; heute aber steht es fest, daß wir darin nichts anderes vor uns haben, als die normale psychologische Begleiterscheinung der meisten (gesunden und kranken) gemütlichen Verstimmungen überhaupt. So haben sich die letzten Spuren des manisch-depressiven Irreseins, das heute unbestritten das Gros der funktionellen Psychosen umfaßt, in das gesunde Seelenleben zurückverfolgen lassen. Das ist um so wichtiger, als neuerdings versucht wird, den ohnehin nicht großen Rest der übrigen nichtorganischen Seelenstörungen in diese Krankheitseinheit mit hinein zu beziehen.

Früher hatte *Kraepelin* die Depressionszustände des Rückbildungsalters vom manisch-depressiven Irresein abgrenzen wollen; neuer-

dings werden auch sie als Ausdruck einer endogenen, eben manisch-depressiven Krankheitsanlage aufgefaßt. Manche Autoren gehen aber darüber noch weit hinaus und wollen sogar die chronische Paranoia und speziell den Querulantenwahn mit den periodischen Krankheiten zu einer Krankheitsgruppe vereinigen.

Wer den Begriff der Paranoia im alten Sinne kennt, und selbst wer reine typische Fälle der Krankheit im Auge hat, die man heute als Querulantenwahn bezeichnet, wird diesen Versuch nicht ohne weiteres begreifen können. Die Krankheit Paranoia hat im Laufe der letzten Jahrzehnte innerhalb der Lehrbücher große Wandlungen erfahren. Es gab eine Zeit, in der sie in der Psychiatrie etwa die Rolle spielte, die heute das manisch-depressive Irresein usurpiert hat. Fast alle Patienten, die Wahnideen äußerten oder bei denen doch solche vorausgesetzt wurden, wurden ihr zugerechnet. Dieser Standpunkt ist als unfruchtbar ziemlich allgemein aufgegeben worden, und neuerdings wurde die Bezeichnung Paranoia für einen ziemlich kleinen Kreis von Kranken reserviert, bei denen sich in exquisit chronischer Entwicklung Wahnvorstellungen im Sinne der Verfolgung und der Selbstüberschätzung ausbilden und sich zu einem in sich zusammenhängenden Wahnsystem zusammenschließen. Das Leiden galt als absolut unheilbar und sollte, wie gesagt, durchaus chronisch verlaufen und sich höchstens in Schüben verschlechtern. Des weiteren wurde dann für charakteristisch gehalten, daß die Wahnideen stets ohne primäre Mitwirkung eines Affektes entstünden. Also eine gleichmäßig fortschreitende Erkrankung der Verstandesfunktionen im Gegensatz zu den periodisch verlaufenden Gemütsleiden. Dieser Gegensatz, der bis vor kurzem noch unverändert zu bestehen schien, gilt heute, hie und da wenigstens, als überbrückt und ausgeglichen.

*G. Specht* hat überzeugend nachgewiesen, daß auch die paranoischen Ideen aus einem krankhaften Affekt hervorgehen, daß auch die Paranoia viel häufiger und viel mehr, als man es gewöhnlich darstellt, in Schüben verläuft, und daß sie manchmal wirklich periodisch auftritt; daß ihre Entwicklung dauernd oder vorübergehend stillstehen, die Krankheit sogar heilen oder wenigstens passiv werden kann; und endlich, was für uns hier das Wichtigste ist, daß es aus der Psychopathologie der Manie bekannte Züge sind, die den „Prozeßkrämer" ausmachen, und daß sich eine ganze Anzahl von sogenannten manischen „Pseudoquerulanten" von den wirklich Verrückten nur künstlich und mit Zwang, dem System zu Liebe, unterscheiden lassen. Der Prozeßkrämer jedoch, der pathologische Querulant, das war gerade der reinste Typus der echten Paranoia, den man bis dahin kannte.

Die Grenzen dieser Krankheit sind übrigens nicht nur an dieser Stelle, dem Gebiet des manisch-depressiven Irreseins gegenüber, unscharf geworden. Auch die Paranoia besitzt enge Beziehungen zu den nervösen Konstitutionen, zur Psychopathologie der abnormen Persönlichkeiten. *Bonhoeffer*, *Siefert* und *Wilmanns* haben sich speziell durch ihre Studien

an inhaftierten Geisteskranken davon überzeugt, daß der Querulantenwahn in der durch ein affektbetontes Ereignis bewirkten Entwicklung einer krankhaften Anlage bestünde. Wieder verschwinden in dieser Beleuchtung die psychologischen Unterschiede zwischen den eigentlich krankhaften Querulanten und den „paranoiden" Naturen, die unter gesunden Menschen jedermann kennt. Menschen, die ihr Leben lang überall unfreundliche Gesinnungen voraussetzen und feindliche Maßnahmen wittern, ohne je eigentlich geisteskrank zu werden, sind ja überaus häufig, und wer viele von ihnen beobachtet hat, wird unschwer eine Skala aufstellen können, die ebenso zwanglos zu sicher gesunden wie zu ausgesprochen krankhaften (paranoischen) Charaktern herüberführt und so beide Extreme miteinander verbindet.

Schon vor *G. Specht*s und *Wilmann*s Eingreifen in der Paranoiafrage hatte *Heilbronner* die Beziehungen des Querulantenwahns zu einer anderen funktionellen Krankheit, der Hysterie, untersucht und bewiesen, daß Wahnbildungen, die symptomatologisch dem Bilde der Paranoia querulatoria entsprechen, auch auf der Basis der Hysterie erwachsen können. Auf diese spezielle Frage selbst und die Folgerungen, die *Heilbronner* aus seinen Beobachtungen zieht, soll hier nicht näher eingegangen werden. Dagegen sei die allgemeine Tatsache hervorgehoben, daß sich hysterische Symptome im Verlaufe anderer funktioneller Seelenstörungen ganz außerordentlich häufig auffinden lassen. Gerade auf Grund von diesen und manchen anderen Beobachtungen haben sich in dieser Hinsicht ziemlich zahlreiche Autoren *Hoche*s Auffassung angeschlossen, der Auffassung, daß wir nicht berechtigt sind, eine Krankheit Hysterie anzunehmen und nur noch von einer hysterischen Disposition sprechen können. Nun läßt sich aber das, was soeben für die hysterischen Symptome ausgeführt wurde, auch für ganz andere Krankheitszeichen nachweisen, und damit tritt uns eine Eigentümlichkeit aller funktionellen Psychosen entgegen, die bisher nur gestreift worden ist: ihre Symptome treten nicht selten bei ein und demselben Kranken zu gemischten Krankheitsbildern zusammen, die von den in den Lehrbüchern geschilderten Typen unter Umständen weit abweichen. Ob man das Bild des manischen Querulanten noch als das Ergebnis einer solchen Verbindung auffassen darf, sei dahingestellt, sicher aber vermengen sich mit dem manisch-depressiven Irresein nicht selten durchaus fremdartige psychopathologische Züge, Zwangsvorstellungen, Phobien, hysterische Stigmata und ähnliche Krankheitszeichen, die den ursprünglichen Charakter der Psychose mehr oder minder verdecken.

Fälle dieser Art rechnet man dann gewöhnlich schon zu den eigentlichen „Entartungszuständen", die die Psychopathen im engeren Sinne, die Dégénérés, oder wie man sie sonst nennen mag, umfassen. Ihre Störungen sind so vielgestaltig, daß der Versuch, sie hier zu skizzieren, ganz und gar aussichtslos sein würde. Die für unsere Zwecke wesentliche Feststellung jedoch kann gemacht werden, daß sich in der Psychopathologie dieser

Dégénérés, in den abnormen Zügen der konstitutionell Nervösen so gut wie immer die Bindeglieder zwischen der Symptomatologie der eigentlichen Geisteskrankheiten und den Erscheinungen des normalen Seelenlebens auffinden lassen. Bei schwer belasteten Menschen sind oft genug manische, melancholische, paranoische und hysterische Krankheitszeichen wenigstens in Andeutungen, gleichzeitig oder nacheinander, nachweisbar. Und gerade da, wo die Symptome rasch wechseln und die Zustandsbilder besonders unrein und unfertig erscheinen, spricht man schon lange von dem degenerativen Charakter dieser Störungen.

Schließlich kommt zu diesen verwandtschaftlichen Beziehungen zwischen den einzelnen funktionellen Psychosen noch eine, die in der Vererbung dieser Krankheiten gelegen ist. Manien, Melancholien, Fälle von Paranoia, Hysterie und degenerativem Irresein finden sich oft in einer Familie; die Dementia praecox dagegen und die funktionellen Psychosen schließen sich bei der Vererbung geradezu aus. *Möbius* hat diesen Tatbestand im Sinne des Dogmas von der Vererbung erworbener Eigenschaften so ausdrücken wollen, daß er die Neurasthenie als den Urschleim bezeichnete, aus dem alle übrigen Seelenstörungen hervorgingen. Das ist in dieser Form gewiß falsch, und gerade die echte Erschöpfungsneurasthenie hat mit den funktionellen Geisteskrankheiten wohl sehr wenig zu tun. Aber mit etwas anderem hat *Möbius* Recht behalten, mit seiner Lehre, daß alle endogenen — das sind unsere funktionellen — Krankheiten durch Übergänge miteinander verbunden seien. Und die gemeinsame Wurzel aller dieser Störungen suchte er — wieder mit guten Gründen — in der Psychologie des gesunden Menschen. „Je mehr man sozusagen eine endogene Form verdünnt, durch Zusetzen von Gesundheit, um so mehr verwischt sich die Grenze. Schließlich gibt man das Unterscheiden auf und spricht nur noch von Nervosität, obwohl diese im Grunde nichts Einheitliches ist und der aufmerksame Beobachter bei den Nervösen die paranoischen, die manischen und anderen Elemente oder Züge noch sehr wohl erkennen kann. . . . . Geht man von der Nervosität aus, so findet man Wege, die von ihr zu jeder der psychiatrischen Hauptformen führen, Wege, die erst allmählich auseinander gehen."

* *

Wir dürfen hier vielleicht einen Augenblick stehen bleiben und die Schlüsse, die in den vorstehenden Äußerungen größtenteils schon gezogen sind, noch einmal zusammenstellen.

Alle funktionellen Geisteskrankheiten, sahen wir, zeigen die gemeinsame Eigentümlichkeit, daß sie zu psychologischen Deutungen immer wieder herausfordern. Sie tun es, weil ihre Symptome nichts prinzipiell Neues bedeuten, sondern ihrem innersten Wesen nach den Erscheinungen des gesunden Seelenlebens verwandt sind, so nahe verwandt, daß im Einzelfalle die Entscheidung „gesund oder krank" schlechterdings unmöglich werden

kann. Die Stimmungsschwankungen der manisch Depressiven, die Neigung zur Periodizität überhaupt, die Erinnerungstäuschungen, Hemmung und Erregung, die Suggestibilität und die hypochondrische Tendenz der Hysterischen, das Mißtrauen und die Kampfesstimmung des Querulanten — das sind alles Symptome, deren Grundelemente der normale Mensch in seinem eigenen Bewußtsein auffinden und die er nur deshalb — je nach dem Temperament der eine mehr diesen, der andere mehr jenen Zug — verstehen und nachempfinden kann. Der wissenschaftliche Nachweis dieser psychologischen Beziehungen aber wird erleichtert und vervollständigt durch die Tatsache, daß alle Krankheitszeichen, die in ausgeprägter Form Äußerungen der funktionellen Geisteskrankheiten darstellen, in abortiver Gestaltung bei den konstitutionell Nervösen gefunden werden. Hier aber sind sie ohne weiteres erkennbar als quantitative Abweichungen vom normalen Verhalten, als krankhafte Steigerungen an sich gesunder Eigenschaften.

Das ist der eine oft vorkommende Fall. In den anderen besteht allerdings die Anomalie nicht sowohl in der pathologischen Verzerrung an sich nicht pathologischer Qualitäten, als vielmehr in einer ungleichmäßigen Verteilung dieser Einzelzüge. Das Ergebnis ist dann die Disharmonie der Persönlichkeit — nur normale, aber nicht im Gleichgewicht befindliche Elementarsymptome. Auch das entspricht der seit langem anerkannten Definition des „entarteten", des psychopathologischen Seelenlebens und ist charakteristisch für die Symptomatologie der „Grenzfälle".

Und endlich: wie es Übergänge zwischen gesund und krank gibt, so existieren auch Mischungen und allerhand sonstige, z. B. erbliche Beziehungen zwischen den verschiedenen Einzelformen der funktionellen Psychosen.

Aus alledem folgt zunächst eines: daß wir eine pathologische Anatomie im Sinne der paralytischen Hirnveränderung bei keiner von diesen funktionellen Störungen erwarten dürfen. Wir müssen wohl annehmen, daß schon den physiologischen Bewußtseinsvorgängen Veränderungen im Nervengewebe parallel gehen (*Alzheimer*). Es ist möglich, daß diese Zustandsänderungen bei einer tobsüchtigen manischen Erregung z. B. quantitativ andere sind als diejenigen, die den normalen seelischen Vorgängen entsprechen; es ist nicht wahrscheinlich, daß man diese Unterschiede in absehbarer Zeit feststellen wird; aber es ist so gut wie sicher, daß solche Differenzen nur in den extremsten Fällen überhaupt erwartet werden dürfen, und daß zwischen gesundem und krankem Geschehen anatomisch-physiologisch die gleichen Übergänge existieren, die auf psychologischem Gebiete nachgewiesen worden sind. Etwas grundsätzlich Neues kann in dem Gehirnmechanismus dieser Geisteskranken eben deshalb nicht vorausgesetzt werden, weil die Grundelemente ihrer Psychologie in der Erscheinung des normalen Seelenlebens schon vorgebildet sind. Darin liegt ein durchgreifender Unterschied gegenüber den organischen Psychosen; denn es ist etwas anderes, ob die materiellen Zustandsänderungen, die alle

seelischen Vorgänge begleiten, etwas zu- oder abnehmen oder ob ein fremder Krankheitsprozeß nervöses Gewebe zerstört oder verändert.[1])

Aber wir können in unseren Schlüssen noch weiter gehen. Beziehungen zwischen abnormen und gesunden Symptomen, wie sie hier nachgewiesen sind, lassen sich nur als genetische, als erbliche Beziehungen verstehen. Man spricht oft davon, daß alle funktionellen Seelenstörungen auf dem gemeinsamen Boden der Entartung entstünden, spricht statt von funktionellen auch von endogenen Krankheiten. Das besagt schon, daß diese Krankheiten durch Selektion, durch unzweckmäßige Auslese zustande kommen. Die Selektion allein kann freilich keine neuen Eigenschaften herauszüchten, aber sie vermag sie in ihrer Intensität zu steigern und sie neu zu gruppieren. Die klinischen Tatsachen aber, die oben referiert sind, drängen geradezu zu der Annahme, daß eine unzweckmäßige Auswahl der Erzeuger die Schuld trägt an der ungünstigen Verteilung der Eigenschaften der Menschen, deren Krankheiten wir funktionelle, endogene nennen. Nur braucht daraus keine allgemeine Entartungsgefahr abgeleitet zu werden: denn ererbte kranke Qualitäten werden bei der weiteren Vererbung zum mindesten ebenso häufig verschwinden, wie sie vorher entstanden waren, und daß erworbene pathologische Eigenschaften vererbt würden, ist eine Fabel.

Übrigens sind die wissenschaftlichen Aufgaben der Psychiatrie durch die Erkennung der hier besprochenen neuen Tatsachen um eine sehr wichtige vermehrt worden: die innigen Beziehungen, die zwischen funktionellen Geisteskrankheiten, psychopathischen Konstitutionen und normalen Charakteranlagen bestehen, enthalten die dringende Aufforderung zu einer systematischen Familienforschung, wie sie neuerdings *R. Sommer* inauguriert hat.

Aus dieser Auffassung vom Wesen der funktionellen Seelenstörungen folgt aber noch manches Andere. Mit dem Begriff des Wortes funktionell haben sich manche Anschauungen der älteren Psychiatrie sehr gründlich gewandelt. Noch bis vor kurzem galten psychologische Deutungsversuche innerhalb der Psychiatrie für unerlaubt und unwissenschaftlich, und eine psychische Entstehung von Krankheitssymptomen wurde nur für das Gebiet der Hysterie zugegeben. Die hysterischen Symptome nehmen

[1]) Es liegt nahe, diesen Unterschied durch den Gegensatz von endogenen und exogenen Störungen ausdrücken zu wollen. Das träfe für viele Fälle gewiß zu; auf der anderen Seite aber könnten grobe organische Störungen gelegentlich sehr wohl auch auf endogenem Wege zustande kommen; man denke an arteriosklerotische Erkrankungen oder etwa an Autointoxikationen. Übrigens nehmen wohl auch die senilen Verblödungsprozesse in dieser Beziehung eine Sonderstellung ein, die sie von der Paralyse z. B. möglicherweise scharf trennen könnte. In den Gehirnen „normaler" und kranker Greise werden gelegentlich qualitativ ganz gleichartige Veränderungen gefunden und vielleicht beruht die wirkliche senile „Demenz" auf einer abnormen Intensität oder auf einer besonders schnellen Progression an sich physiologischer Rückbildungsprozesse. Dem würde auf psychischem Gebiete dann die Tatsache entsprechen, daß die Erscheinungen der senilen Demenz zwar nicht dem Seelenleben des rüstigen Menschen, wohl aber dem des noch gesunden Greises verwandt sind.

selbstverständlich auch heute noch eine Ausnahmestellung ein, sie sind psychogen in dem Sinne, daß die Idee eines Patienten, in spezifischer Weise krank zu sein, die besondere Gestaltung des Krankheitsbildes bestimmt. Ein hysterischer Kranker ist blind, weil er auf einem oder auf beiden Augen nicht sehen zu können glaubt, und er ist in bezug auf irgend welche Muskelgruppen gelähmt, weil er meint, die Herrschaft über sie verloren zu haben. Diese Art eines psychologischen Zusammenhanges wird zweifellos nur in einem beschränkten Kreise von Krankheitsfällen vorausgesetzt werden dürfen. Dagegen steht fest, daß psychische Ursachen viel häufiger, als das früher zugegeben wurde, die Entstehung psychotischer Störungen überhaupt veranlassen. Dabei ist selbstverständlich, daß ein um so kleinerer äußerer Anlaß (auch wenn er auf psychologischem Wege das Seelenleben alteriert) krankmachend wirkt, je stärker das betroffene Individuum zu nervösen Erkrankungen von Hause aus disponiert war. Insofern wird eine Verständigung darüber nicht immer möglich sein, ob in einem gegebenen Falle die endogenen oder die exogenen Momente den Ausschlag gegeben haben. Daß die meisten Manien unabhängig von jeder voraufgegangenen psychischen Erregung entstehen, ist gewiß; daß aber gelegentlich die gleiche Krankheit durch eine schwere gemütliche Erregung ausgelöst wird, kann heute wiederum schlechterdings nicht mehr bestritten werden.

Mit dieser vermehrten Anerkennung psychologischer Krankheitsursachen wird aber auch die Möglichkeit zugegeben werden müssen, daß psychische Störungen in höherem Maße psychisch beeinflußt und daß sie vor allem durch eine nach psychologischen Grundsätzen angestrebte Prophylaxe verhindert werden können. Auch das widerspricht älteren Anschauungen, und Ansichten dieser Art wären wohl noch vor relativ kurzer Zeit auf den ziemlich einstimmigen Widerstand der Fachgenossen gestoßen.

Und nun zum Schluß endlich die Beantwortung der Frage, von der wir ausgingen. Gibt es innerhalb der endogenen, funktionellen Geistesstörungen natürliche Krankheitseinheiten? Ja und Nein. Krankheiten, die sich ätiologisch, symptomatologisch und dem Verlaufe nach aus allen übrigen herausheben, wie es die Paralyse z. B. tut, und die sich voneinander trennen lassen, wie die senilen und die arteriosklerotischen Verblödungsprozesse voneinander geschieden worden sind, die kann es hier nicht geben. Unreine Fälle, Mischungen und Abortivformen werden aus inneren Gründen vielleicht häufiger sein als die Grundtypen, die man bisher kennen gelernt hat und möglicherweise noch finden wird. Gesetzmäßigkeiten werden sich darum doch aufweisen lassen, und vielleicht doch auch Gesetzmäßigkeiten, die sich nicht auf die Symptomverkupplungen, die Syndrome beschränken. Auch typische Verlaufsarten sind denkbar, Verlaufsarten, die mit bestimmten Zustandsbildern so innig verknüpft wären, daß sie aus ihnen erschlossen, vorausgesagt werden könnten. Das wären dann eben doch Krankheiten, wenn auch freilich Krankheiten

von viel weniger scharfer Umgrenzung, wie die Tuberkulose es ist und die Dementia praecox es vielleicht einmal sein wird.

Die herrschende Meinung ist geneigt, möglichst alle endogenen Psychosen — eben wegen ihrer symptomatologischen Beziehungen untereinander — zu vereinigen und das Ganze eine Krankheit, das manisch-depressive Irresein, zu nennen. Der Unterschied gegenüber *Hoches* Auffassung scheint uns nicht groß zu sein. Ob man organische Hirnkrankheiten (einschließlich der Dementia praecox, wie *Hoche* es tut) und funktionelle Geistesstörungen unterscheidet und an weitere Formen innerhalb dieses Kreises von funktionellen Psychosen nicht glaubt; oder ob man den organischen Psychosen ein manisch-depressives Irresein entgegenstellt, das, außer den alten, „einfachen" Manien und Melancholien und den periodischen und den zirkulären Psychosen, sowohl die allerleichtesten Stimmungsschwankungen der Nervösen wie die eventuell zu Verblödung führenden Involutionspsychosen und den zumeist unheilbaren Querulantenwahn umfaßt — das scheint uns keine Differenz, die nicht überbrückt werden könnte.

Fraglich aber ist, ob nicht die symptomatologischen Typen und die Verlaufsformen, die sich bis heute herausgehoben haben, noch weiter rein dargestellt werden müssen, und ob nicht, gerade der Übergangsfälle wegen, zur gegenseitigen Verständigung und zur Orientierung der weiteren Forschung der Begriff des zirkulären Irreseins z. B. wieder enger gefaßt werden sollte. Möglicherweise könnte eine der dringendsten Aufgaben der Psychiatrie auf diesem Wege leichter gelöst werden als auf anderen; möglicherweise könnten wir so schneller über die Natur jener Krankheiten ins Klare kommen, die wir heute bald als endogene zum manisch-depressiven Irresein, bald wieder als exogene zur Dementia praecox gerechnet haben, und die doch vielleicht weder zu der einen noch zu anderen von diesen Gruppen engere Beziehungen besitzen. Gerade die — sehr wahrscheinliche — Existenz solcher Krankheiten, die wir bis heute gar nicht verstehen und eben deshalb systematisch nicht unterzubringen vermögen, wäre natürlich besonders geeignet, die Grenze zwischen den organischen und den funktionellen Störungen immer wieder unscharf und undeutlich erscheinen zu lassen. Um so notwendiger werden wir die grundsätzliche Verschiedenheit dieser Psychosen, den prinzipiellen Gegensatz zwischen organisch und funktionell gerade auch bei ihrem Studium im Auge behalten müssen.

# Regeneration und Verwandtes.

Von **Dietrich Barfurth** in Rostock.

## Inhalt.


| | Seite |
|---|---|
| Einleitung | 153 |
| A. Regenerationsähnliche Erscheinungen an Krystallen | 154 |
| B. Regeneration und verwandte Erscheinungen bei den Organismen | 168 |
| I. Regeneration und Verwandtes bei Pflanzen | 169 |
| *a)* Wundheilung und Vernarbung | 170 |
| *b)* Echte Regeneration | 171 |
| *c)* Regenerative Neubildung | 174 |
| *d)* Transplantation | 176 |
| *e)* Kompensatorische Hypertrophie und vikariierende Tätigkeit der Organe; Metamorphosen; Korrelation | 181 |
| *f)* Kompensatorische Regulation; Polarität; formbildende Stoffe | 184 |
| II. Regeneration und Verwandtes bei Tieren | 186 |
| *a)* *W. Roux'* Hemiembryonen und Postgeneration | 187 |
| *b)* Typische und atypische oder regenerative Entwicklung *(W. Roux)*; Regeneration der Embryonalstadien | 189 |
| *c)* Die drei Arten der tierischen Regeneration | 192 |
| *d)* Regeneration bei Wirbellosen; Heteromorphose; Morphallaxis; Autotomie; atypische Regeneration | 193 |
| *e)* Regeneration bei Wirbeltieren | 197 |
| *f)* Regeneration der Gewebe; kompensatorische Hypertrophie | 199 |
| *g)* Spezietät der Gewebe; Metaplasie; Bildung der Geschwülste | 201 |
| *h)* Transplantation; Polarität; biochemische Differenz | 203 |
| *i)* Beeinflussung der Regeneration durch äußere und innere Faktoren | 209 |
| *k)* Theorien der Regeneration | 220 |
| Literatur | 224 |


## Einleitung.

Der Begriff „Regeneration“ wurde gebildet auf Grund von Beobachtungen über die Wiederherstellung verloren gegangener Körperteile bei Tieren. Solche Beobachtungen wurden besonders eifrig im 18. Jahrhundert von *Réaumur*, *Spallanzani*, *Bonnet*, *Trembley* u. a. an Wirbellosen und niederen Wirbeltieren nach künstlich hergestellten Verletzungen angestellt.

Erst viel später, in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts, warfen namhafte Forscher die Frage auf, ob auch den Pflanzen die Fähigkeit der Regeneration zukomme. Da die Pflanzen abgeschnittene Blätter oder Zweige nicht regenerieren, sondern aus meist schon vorhandenen Knospen ersetzen, so bedurfte es eingehender Versuche der neuesten Zeit, um auch bei Pflanzen ein tatsächlich vorhandenes Regenerationsvermögen festzustellen. Diese Tatsache ist ein neuer Beweis dafür, daß im Pflanzen- und Tierorganismus sich zahlreiche Prozesse vollziehen, die ihnen gemeinsam sind und daß eine scharfe Grenze zwischen Tier- und Pflanzenwelt nicht existiert (*Abderhalden*, 1911, S. 2).

Die neuere Forschung hat nun bei Untersuchungen über Regeneration nicht bei den Organismen Halt gemacht, sondern sie hat auch die unbelebte Natur, speziell die Krystalle, zu vergleichenden Studien dieser Art herangezogen. Wir wissen seit längerer Zeit durch *H. Jordan* (1842), daß experimentell verstümmelte Krystalle sich aus der Mutterlauge wieder zu vollständigen Individuen ergänzen und können diesen Vorgang mit der „Regeneration" bei Pflanzen und Tieren vergleichen, wenn wir auch hierbei überall auf den Unterschied zwischen belebter und unbelebter Natur stoßen und nach meiner Ansicht gut tun, nur von „regenerationsähnlichen" Erscheinungen an Krystallen zu sprechen. Die Gründe werden sich aus den nachfolgenden Erörterungen ergeben.

## A. Regenerationsähnliche Erscheinungen an Krystallen.

Seit langer Zeit weiß man, daß künstlich verstümmelte Krystalle durch Ergänzung der verloren gegangenen Kanten und Ecken in geeigneten Lösungen ihre ursprüngliche Form wieder herzustellen vermögen (*J. N. Fuchs, H. F. Link, H. Jordan, A. Loir, C. v. Hauer*). *H. Jordan* war der erste, der experimentell verstümmelte Krystalle in der nämlichen gesättigten Salzlösung (meist Alaun) wieder aufhing und die Ergänzung derselben zu vollständigen Individuen beobachtete (1842). Derselbe Forscher fand, daß mit der Ergänzung des verstümmelten Teiles gleichzeitig ein Fortwachsen des ganzen Krystalles stattfindet, daß das Bestreben der bildenden Tätigkeit aber vorzugsweise darauf gerichtet ist, den Verlust zu ersetzen. Er schildert die Art und Weise, wie die Ergänzung zustande kommt und konstatiert, daß dieselbe auch in einer Auflösung isomorpher Körper vor sich geht. Hierbei ist jedoch das Vorhandensein sämtlicher Elemente des Isomorphismus erforderlich: Krystalle von gleicher Stammform und gleichen Spaltungsrichtungen, aber verschiedenem stöchiometrischen Verhalten sind nicht imstande, sich gegenseitig zu ergänzen; sie verhalten sich in der betreffenden Lösung wie jeder andere feste Körper. Auf Grund dieser Beobachtungen verglich *Jordan*, wie schon ältere Forscher und wie auch *J. Henle* in einem seiner „anthropologischen Vorträge" die Krystalle mit den organisierten Individuen der Pflanzen- und Tierwelt (*A. Rauber*). Dieser Vergleich ist nun wesentlich erweitert und vertieft

worden durch die neuen Untersuchungen über Krystallregeneration des Anatomen *A. Rauber*, des Zoologen *H. Przibram* und des Physikers *O. Lehmann*.

Denkt man sich von einem Alaunkrystall, der zur dyakisdodekaedrischen Klasse des Krystallsystems gehört, eine Pyramidenspitze abgeschnitten, so erhalten wir die Hauptmasse des zurückbleibenden Krystalls, den „Torso" *(A. Rauber)* und außerdem die weggenommene Pyramidenspitze, die Ergänzungs- oder Supplementärpyramide. Während die früheren Untersucher nur die Ergänzung des „Torso" prüften, untersuchte *Rauber* außerdem auch die „Regeneration" des Supplementkörpers, wie man in der tierischen Morphologie z. B. bei Hydroidpolypen nicht bloß untersucht hat, ob der Polyp ein weggenommenes Tentakel zu regenerieren vermag, sondern auch, ob das abgeschnittene Tentakel wieder einen ganzen Polypen herstellen kann *(M. Nussbaum)*.

Der „Torso" stellte bei *Rauber*s Versuchen in der Mutterlauge abgeschliffene Ecken, Kanten und Flächen wieder her. Wurde künstlich aus dem Torso eine Kugel, ein Ellipsoid, eine Linse, ein Zylinder, ein Würfel, ein Prisma, ein Kegel, eine Pyramide hergestellt, so erfolgte in der Mutterlauge oder in einer isomorphen Regenerationsflüssigkeit dennoch schließlich die Ergänzung zu einem normalen Oktaeder. Das Ergebnis dieser Versuche am Torso war also, daß stets eine Wiederherstellung des Stammkrystalls zu seiner typischen Gestalt eintrat.

Die Versuche über „Regeneration" des Supplementkörpers ergaben allgemein, daß bei der Ecke und bei der Kante niemals durch rückwärts schreitendes Wachstum eine Wiederherstellung des abgeschnittenen Torso stattfand. Ein Eckensupplement regeneriert von seiner Basis aus eine spiegelbildliche Gegenecke und ein Kantensegment regeneriert von seiner Basis aus in derselben Weise eine Gegenkante; in beiden Fällen fehlt der zwischenliegende Teil des Vollkrystalls.

Bei seinen Versuchen machte nun *A. Rauber*, ähnlich wie *H. Jordan*, die eigentümliche und wichtige Beobachtung, daß die „Regeneration" der Krystalle an den Wundflächen manchmal schneller geschieht, als das gleichzeitige Wachstum an den Naturflächen. Man kann in dieser Erscheinung mit *W. Roux* eine Art einfachster mechanischer Selbstregulation sehen.

Ein Einfluß von Giften, z. B. Morphium, Strychnin, Blausäure usw., auf die Bildung und Regeneration der Krystalle ließ sich nicht nachweisen. Zucker und Stärkekleister verlangsamten aus mechanischen Gründen die Regeneration wie die Kälte. Der Zusatz von Säuren und Alkoholen zur Mutterlauge hatte ebenfalls aus chemisch-physikalischen Ursachen (Löslichkeit) eine Verzögerung der Krystallisation zur Folge.

Während die verdienstvollen Versuche von *A. Rauber* lediglich an sogenannten „starren" Krystallen gemacht wurden, hat *H. Przibram* außer den starren auch die „weichen" Krystalle *(O. Lehmann)* zu Studien herangezogen. Die Beobachtungen an starren Krystallen entsprachen im wesent-

lichen denjenigen von *A. Rauber*. So fand er z. B., daß ein senkrecht zur elektrischen Achse halbierter Krystall der Rechtsweinsäure ($C_4H_6O_6$) in der gleichen Flüssigkeitsmenge unter sonst gleichen anderen Bedingungen in derselben Zeit etwa doppelt so viel zunahm als ein unverletzter. Sehr beachtenswert sind die Experimente von *Przibram* über das Problem, ob ein starrer Krystall, der sich in einer vor dem Verdunsten geschützten Nährlösung befindet, seine Form nach Verletzung wiederherzustellen imstande ist. Es ergab sich merkwürdigerweise eine mehr oder weniger vorgeschrittene Wiederherstellung der angewandten Krystalle von Kalialaun (Oktaeder). Es war deutlich zu bemerken, daß die Restitution der Krystallform durch Ablösung von Teilchen der unverletzten Krystallflächen (Abrundung von Ecken, Lösungsdreiecke auf den Flächen) und Ablagerung an der verletzten Stelle (Wucherungsfiguren) geschehen war.

Auch die Beobachtungen *Przibrams* an weichen Krystallen sind für den Vergleich mit biologischen Vorgängen der echten Regeneration von großer Wichtigkeit.

Dafür lieferten Hämoglobinkrystalle, nach der Methode von *Micko* aus Pferdeblut dargestellt, ein ausgezeichnetes Versuchsmaterial.

Einige Krystalle wurden in ihrer Nährlösung auf einen Objektträger gebracht und unter Zusatz von einem Tropfen Wasser durch Druck gesprengt. Die beim Wasserzusatz abgerundeten Ecken des Krystalles nehmen nach erneutem Zusatz von Hämoglobinlösung bald wieder die scharfen Konturen an und es erfolgt eine allmähliche Regeneration des abgesprengten Stückes, bis wieder ein vollständiger rhombischer Krystall vorhanden ist. Sehr auffallend ist es, daß eine Zunahme des Krystalls an anderen Stellen als an den Verletzungsstellen, selbst bis zur vollständigen Restitution nicht erfolgt.

Für das Problem der Krystallregeneration sind dann ferner die Beobachtungen von *O. Lehmann*, *Vorländer* u. a. über die „flüssigen" und „fließenden" Krystalle von Wichtigkeit. *Lehmann* hält gewisse rein krystallinische Substanzen für flüssig, weil sie frei schwebend vollkommene Kugelgestalt annehmen und keine Spur von Verschiebungselastizität zeigen.

Außer diesen flüssigen Krystallen gibt es noch „fließende", welche durch ihre eigene Oberflächenspannung nur an den Ecken und Kanten abgerundet werden und bei gegenseitiger Berührung zusammenfließen. Dieses Zusammenfließen wurde von *Lehmann* an den schlanken einachsigen Pyramiden des Ammoniumoleats, einer Schmierseife, beobachtet und von *Vorländer* an den Krystallen des Paraazoxybenzoesäureäthylester (1904) und an der fließend krystallinischen Modifikation des Paraazoxybromzimtsäureäthylesters nachgewiesen. Daß die Krystalle, obschon flüssig, nicht wie der *Plateau*sche Öltropfen durch ihre Oberflächenspannung zu einer Kugel zusammengedrückt werden, ist offenbar die Wirkung einer Kraft, deren Natur noch zu untersuchen ist und die *Lehmann* einstweilen „Gestaltungskraft" nennt.

Die Äußerungen dieser Kraft an flüssigen Krystallen, z. B. des Paraazoxyzimtsäureäthylesters, erinnern nach *Lehmanns* Schilderung viel-

fach an Lebenserscheinungen niederster Organismen. Scheiden sich diese Krystalle bei etwas niedrigerer Temperatur, also aus minder konzentrierter Lösung aus, so scheinen sie etwas Lösungsmittel aufzunehmen und dadurch leichtflüssiger zu werden. Gleichzeitig wird die Anisotropie bezüglich der inneren Reibung geringer, die Form nähert sich der Kugelform, doch bleibt an der Basis der hemimorphen Pyramide — der ursprünglichen normalen Krystallform dieses Esters — eine Abplattung, von deren Mitte sich eine eigentümliche Schliere gegen das Kugelzentrum hinzieht, wohl bedingt durch konische Anordnung der Moleküle um die Achse. Zwei solche Kugeln, in übereinstimmender Stellung kopuliert, geben einen einheitlichen Tropfen; bei abweichender Stellung resultiert ein Tropfen mit zwei Abplattungen (oder mehr, wenn mehr als zwei Tropfen zusammenfließen); treffen sich aber die beiden Komponenten mit den Abplattungsflächen, so bleiben sie einfach aneinander haften, einen Zwilling- oder Doppeltropfen bildend, ohne zusammenzufließen. Auch von selbst können solche entstehen; aus der Abplattungsfläche eines Tropfens kann eine Knospe hervorwachsen, die leicht abfällt, wenn sie gleiche Größe erreicht hat, ein Analogon der Vermehrung durch Knospenbildung bei Lebewesen. Der Doppeltropfen kann sich auch zu einem bakterienartigen Stäbchen oder zu einem sehr langen schlangenförmigen Gebilde ausdehnen, er wächst, wie Organismen, durch eine Art Innenaufnahme, die Dicke bleibt immer gleich, während ein gewöhnlicher Krystall durch Apposition, d. h. Anlagerung der neuen Teilchen auf der Oberfläche, sich vergrößert. Besonders schön bilden sich solche Schlangen bei *Vorländer*s Paraazoxybromzimtsäureäthylester. Ganz wie Bakterien können die Stäbchen oder Schlangen vorwärts oder rückwärts kriechen und sich gleichzeitig hin und her schlängeln oder um ihre Achse drehen. Das Allermerkwürdigste aber ist, daß sie sich ähnlich wie Bakterien selbst teilen können in zwei oder mehrere Teile, die nun selbst wieder sich als vollkommene Individuen verhalten, weiterwachsen und sich teilen.

Man versteht es, daß *O. Lehmann* auf Grund solcher Beobachtungen die Gestaltungskraft der flüssigen Krystalle unter gewissen Einschränkungen mit der Muskelkraft, und das Wachstum eigenartiger Bildungen fließender Krystalle, die man „Myelinformen“ genannt hat, mit dem Wachstum der Lebewesen vergleicht. Auch ein gewisses Regenerationsvermögen schreibt *O. Lehmann* den Krystallen zu, sieht aber die Ähnlichkeit dieser Vorgänge mit denjenigen bei Organismen nicht als eine „tiefgreifende“ an.

Dies sind die wichtigsten Beobachtungen und Mitteilungen, die bisher über die „Regeneration“ der Krystalle gemacht worden sind. Wir können uns nunmehr der Frage zuwenden, ob diese Tatsachen geeignet sind, die „Regeneration“ der Krystalle mit der echten Regeneration bei Pflanzen und Tieren zu vergleichen und damit unserem Verständnis des Überganges von der anorganischen zur organischen Natur eine Brücke zu schlagen. Obgleich die regenerativen Vorgänge an den Organismen erst später besprochen werden sollen, sind die wichtigsten dieser Vorgänge

wohl jedem Leser so bekannt, daß diese Vergleichung auf Grundlage der in der Einleitung gegebenen Erklärungen hier möglich ist und dadurch diesem Kapitel ein geeigneter Abschluß gegeben werden kann.

Schon die ersten Experimentatoren der Krystallregeneration, z. B. *Fuchs, Link, Jordan,* verglichen ihre Beobachtungen mit den entsprechenden Erscheinungen an den Organismen, und ganz besonders eingehend verfolgen *A. Rauber* und *H. Przibram* diese Analogien. Es sei ferner daran erinnert, daß außer *J. Henle* viele hervorragende Forscher, z. B. *H. Spencer, E. Pflüger, O. Hertwig* mit bestimmten Einschränkungen die Regeneration der Krystalle zu derjenigen der Organismen in Analogie gesetzt haben, während andere, z. B. *H. Driesch, T. H. Morgan,* einen Vergleich beider Vorgänge als hinfällig erklären. Diese letztere Ansicht wird wohl von den meisten Biologen geteilt und entspricht auch der Grundanschauung des erfahrensten Experimentators auf diesem Gebiet, *A. Raubers*. Im Eingange seiner Mitteilungen über Krystallregeneration sagt er: „Der Ausdruck Regeneration, Wiederersatz, Wiederherstellung ist gewählt, um die Beziehung zu der ähnlichen (vom Ref. unterstrichen) Erscheinung in den beiden Reichen der organischen Natur hervorzuheben.“ Demgemäß habe auch ich in meinen jährlichen Berichten über Regeneration die Ergänzung verstümmelter Krystalle als eine regenerationsähnliche Erscheinung bezeichnet. Diese Ähnlichkeit ist ja sehr auffallend. Wenn ein Salamander das abgebissene Bein oder die abgeschnittene Schwanzspitze regeneriert, so haben wir eine ähnliche Wiederherstellung des Ganzen, als wenn ein Krystall eine abgeschlagene Ecke ersetzt. Wenn man ferner mit *A. Rauber* die Ursachen der Reparaturen von Krystallen in der inneren Struktur der stofflichen Grundlage und in dem Einfluß der künstlichen Unterlage sucht, so kann man auch darin eine „Ähnlichkeit“ mit der Regeneration bei Organismen sehen, wie es *A. Rauber* mit einsichtsvoller Zurückhaltung tut. Eine solche Ähnlichkeit besteht nach *Rauber* auch zwischen Krystallregeneration und der organischen Entwicklung des Eies. Er vergleicht ein tierisches Ei mit dem aus der Mutterlauge hervorgegangenen Krystallisationskerne und mit einem künstlich aus dem Krystalle geschnittenen eiförmigen Körper, weniger seiner äußeren Form wegen, als der Struktur und des Stoffes wegen. Warum Kinder den Eltern ähnlich werden, hat im allgemeinen denselben Grund, als warum aus einer Alaunkugel ein Alaunoktaeder hervorgeht: die Gleichheit der Stoffe und Strukturen. Aus einer Alaunkugel kann nie ein Salpeterprisma hervorgehen, sondern nur eine Endform, die in die Alaunreihe gehört: ebenso ist es dem inneren Wesen nach mit den organischen Fortpflanzungskörpern.

Besonders entschieden tritt *H. Przibram* für die Analogien zwischen Krystallen und Organismen ein. Wenn zwei flüssige Krystalle miteinander zu einem großen Ganzen verschmelzen, so gleicht dieser Vorgang der Vereinigung zweier Echinidenkeime zu einem Riesenkeim, wie sie von *H. Driesch* beobachtet wurde; und die Tatsache, daß die Bildung eines neuen Großkrystalls aus zwei kleinen Krystallen nur stattfindet, wenn die Achsen ganz

oder nahezu zusammenfallen, hat ebenfalls ihr Analogon bei der Vereinigung normaler Echinidenkeime zu einem Großkeim. Auch die Entstehung zweier kleiner Ganzkeime aus den beiden Zellen des einmal gefurchten Echinidenkeimes hat ihre Parallele in der Trennung eines flüssigen Krystalls in zwei kleine Krystalle. Ferner gleicht die regenerative Wiederherstellung eines Wurmes (Planaria) aus einem Teilstück bloß unter Verwendung des übrig gebliebenen Materials ohne Sprossungsvorgänge (Morphallaxis. *T. H. Morgan*) durchaus der Wiederherstellung eines flüssigen Krystalles aus einem Teil desselben in kleinerem Format.

Auch in der Ursache der Regeneration bei Krystallen und Organismen kann man eine Analogie finden.

Nach der Anschauung von *Curie*, der sich *H. Przibram* anschließt, stellt die Krystallform einen Gleichgewichtszustand zwischen der anisotropen Richtkraft und der Abrundung anstrebenden Oberflächenspannung dar. Wird ein Krystall verletzt, so wird dieses Gleichgewicht gestört. Der Krystall müßte so lange eine Deformation erleiden, bis wieder Gleichgewicht hergestellt ist, d. h. mit dem verfügbaren Material wieder die der ursprünglichen proportionale, aber verkleinerte Krystallform hergestellt ist, wenn ihm keine Massenzunahme aus der Nährlösung möglich ist.

Die Anwendung des Satzes von der kleinsten Oberfläche erklärt nach *Przibram* die merkwürdigste Tatsache der Krystallregeneration: die größere Wachstumsgeschwindigkeit in der Verletzungsrichtung.

Das Prinzip der Oberflächenspannung macht nun *Przibram* auch verantwortlich für die Regeneration der Organismen, weil das Bestehen derselben schon durch den „Turgor“ der Pflanzen und Tiere (*Loeb*, 1891) angezeigt wird. Der verletzte Organismus verliert den habituellen Turgor und erreicht denselben wieder bei der Regeneration.

Damit sind die wesentlichen Analogien erschöpft. Daß die Ähnlichkeiten nicht sehr tiefgehend sind, ist ohne weiteres ersichtlich und wird noch auffallender, wenn man nunmehr die Verschiedenheiten zwischen der Reparation der Krystalle und der Organismen ins Auge faßt.

Im Grunde sind beide Vorgänge so verschieden, wie die anorganische und organische Natur überhaupt. Es fehlen bei der Krystallisation die sämtlichen fundamentalen Leistungen des Organischen, nämlich die Selbstassimilation, die Selbstbewegung, die Selbstausscheidung des unbrauchbar Gewordenen und die Selbstteilung. Es fehlt ferner die bei den Organismen so wunderbar ausgebildete hohe Stufe der Selbstregulation, wenn auch nach *W. Roux'* Deutung gewisser Beobachtungen von *A. Rauber* eine Art einfachster mechanischer Selbstregulation vorhanden sein mag. Demgemäß finden wir im einzelnen sehr erhebliche Unterschiede zwischen dem Verhalten der Krystalle und der Organismen bei der Regeneration.

Wenn man einen Alaunkrystall mit dem Hammer in tausend kleine Splitter zerschlägt, wird sich jeder dieser Splitter unter den gleichen äußeren Bedingungen in reiner Mutterlauge zu einem kleinen Alaunoktaeder entwickeln. Bei diesem Versuch erinnern die verschiedenen Anfangsformen

bei gleicher Endform an ähnliche Erscheinungen bei der Regeneration niederer Tiere, z. B. von Hydra, Tubularia, Planaria etc. Während aber bei den Krystallstücken die Form ganz nebensächlich und nur Gleichheit des Stoffes und der Struktur erforderlich ist *(A. Rauber)*, können wir bei der Entwicklung und Regeneration organischer Körper der Form keineswegs die Bedeutung absprechen, da die bei Verletzungen hergestellte Form auch den Modus und die Form des Regenerats beeinflussen.

Man kann ferner die oben erwähnte Regeneration der Alaunträmmer zu verkleinerten Vollkrystallen vergleichen mit der regenerativen Entwicklung isolierter Furchungszellen eines sich entwickelnden Eies zu kleinen Ganzembryonen, wie sie beim Ei des Seeigels *(H. Driesch)*, dem des Amphioxus *(E. B. Wilson)*, des Frosches *(W. Roux, O. Hertwig, T. H. Morgan)* und des Triton *(Endres, Herlitzka, Spemann)* beobachtet wurden. Wie himmelhoch erscheint uns aber die Überlegenheit des tierischen Eies, wenn wir erfahren, daß z. B. isolierte Furchungszellen des Schneckeneies Halb-, Viertel- und andere Teilembryonen bilden *(H. E. Crampton)* und daß bei anderen Eiern (Froschei) der Experimentator es geradezu in der Hand hat, nach Abtötung einer Hälfte des zweigeteilten Eies aus der überlebenden Hälfte einen Hemiembryo oder einen kleinen Ganzembryo hervorgehen zu lassen *(T. H. Morgan)*.

Für das normale Wachstum und die Regeneration von Krystallen ist nach *Rauber* Ruhe nicht erforderlich: Kugeln und Zylinder aus Alaun regenerierten rasch und regelmäßig, auch wenn sie in der Mutterlauge heftig geschüttelt werden. Die organischen Körper zeigen auch darin wieder Verschiedenheiten, die mit der Entwicklung zusammenhängen. Nach *Morgans* Versuchen am Krötenei und *Katharinens* am Froschei entwickelten sich die Eier normal, auch wenn sie durch einen Wasserstrom in beständiger Rotation gehalten wurden; dasselbe ist jedem Fischzüchter bekannt vom Hechtei. Dagegen lehrten Beobachtungen an Froschlarven, daß Ruhe ihre Verwandlung befördert *(E. Pflüger, D. Barfurth)*.

Verminderung und Vermehrung des Atmosphärendrucks haben keinen Einfluß auf Wachstum und Regeneration der Krystalle; dagegen starben nach *Raubers* Versuchen Embryonen von Rana fusca unter dem Rezipienten der Luftpumpe nach Auspumpen der Luft sofort ab. Ob hier der Tod durch Abnahme des Luftdrucks oder des Sauerstoffs erfolgte, läßt sich nicht ohne weiteres entscheiden; es sei aber daran erinnert, daß in den berühmten Versuchen von *E. Pflüger* an erwachsenen Fröschen die Tiere $7^1/_2$ und $11^1/_2$ Stunden unter großen Bechergläsern ohne allen Sauerstoff lebendig blieben.

Abkühlung der Lösung ist nach *Rauber* ohne Wirkung auf die Krystallisation, während niedrige Temperatur die Regeneration *(Spallanzani, Leydig, Fraisse, Barfurth)* und die Entwicklung *(O. Schultze, O. Hertwig, H. Driesch, K. Peter)* verlangsamt.

Die Schwerkraft ist auf die Krystallbildung und -regeneration ohne Einfluß. Die normale und regenerative Entwicklung tierischer und pflanz-

licher Embryonen ist zwar von der Schwerkraft nicht abhängig, kann aber gestört werden, wenn die Schwerkraft unter geeigneten Umständen die normale Anordnung der spezifischen ungleich schweren Eibestandteile verändert. (Siehe die Versuche von *E. Pflüger, W. Roux, G. Born, O. Hertwig, O. Schultze, T. H. Morgan, Kathariner, Moszkowski, B. Schmidt.*) *O. Schultze* erhielt aus befruchteten Eiern von Rana Doppelbildungen, wenn er die befruchteten, zwischen Glasplatten komprimierten Eier nach der ersten Furchung um 180° drehte und hierdurch der Schwerkraft Gelegenheit gab, die normale Anordnung der Dotterteile zu ändern.

Der fundamentale Unterschied zwischen der Krystallregeneration und der echten tierischen Regeneration zeigt sich am auffallendsten, wenn man den einfachen Wiederaufbau des Krystalls mit der komplizierten Wiederherstellung von Körperteilen, z. B. Schwänzen und Extremitäten bei gewissen Tieren, vergleicht.

Die Achse eines Regenerats, etwa am amputierten Schwanz einer Froschlarve oder eines Triton, wird nach *H. Przibram* — der sich hier an *Ryder* anschließt — durch die Oberflächenspannung bestimmt. Beim Beginn stellt das Regenerat eine rundliche Kuppe dar, die schon *Bonnet* (1779) kannte. Steht die Verletzungsebene senkrecht zur Achse des regenerierenden Teiles, so bildet das Regenerat die Fortsetzung der alten Achse; steht jedoch die Verletzungsebene schief, so steht die neue Achse ebenfalls schief zur alten Achse, jedoch senkrecht zur Verletzungsebene. Es ergibt sich *Barfurths* Gesetz (1891), daß das Regenerat stets senkrecht zur Verletzungsebene hervorsproßt. Davon ist der erstangeführte Fall bloß ein besonderer: daß die neue Achse bei senkrechter Verletzungsebene eine Fortsetzung der alten bildet, ist in dem Zusammenfallen der höchsten Erhebung der Regenerationskuppe mit der Verlängerung der alten Achse zu suchen. Ursache ist wieder die Oberflächenspannung, der das sehr weiche Regenerat anfangs vollkommen unterliegt. Mit zunehmender Größe der neugebildeten Schwanzspitze erfolgt späterhin eine Geradestreckung, über die weiter unten noch ein Wort zu sagen ist.

Wie verhält sich nun in ähnlichem Falle der regenerierende Krystall? Bei den starren Krystallen wächst ein Regenerat niemals schief zu seiner Basis. So schreibt *Rauber* über Alaunoktaeder: „Man hätte daran denken können, daß die Ergänzungspyramide senkrecht auf ihrer schrägen Basis aufwachsen würde, also eine gegen den Pyramidenstumpf abgeknickte Spitze zum Vorschein käme. Eine solche Erscheinung trat aber nie auf" (1895, S. 19—20). Diese Tatsache wird nach *H. Przibram* erklärlich, wenn man bedenkt, daß bei dem festen Aggregatzustand solcher Krystalle von einer „Oberflächenspannung", wie sie bei der von *Barfurth* ermittelten Regel an regenerierenden Amphibienschwänzen auftritt, nicht die Rede sein kann.

Auch in bezug auf „Polarität", d. i. das Gerichtetsein der kleinsten Teilchen, verhalten sich Krystalle und Organismen sehr verschieden.

Von den Krystallen ist kein Fall bekannt, daß die Polarität veränderlich wäre. Der Grund liegt natürlich in der inneren physikalisch-

chemischen Struktur der Krystalle, durch welche die Achse und die Krystallform unabänderlich bestimmt wird. Jede Auflösung und jede Ausscheidung des einzelnen Substanzpartikelchens ist jeweils ein durch die Krystallisationsform bestimmter einzelner Vorgang und das Resultat ist eine einfache Aggregation oder Addition, die nur deshalb zu spezifischer Totalform führt, weil die Anlagerungskräfte immer gleiche Richtung haben. Im Grunde ist doch jeder Krystall in jedem seiner Teile nicht nur potentia, sondern actu das Ganze *(H. Driesch)*.

Bei den Organismen dagegen ist die „Polarität" keineswegs eine überall und unter allen Umständen vorhandene Eigenschaft. *Vöchtings* Versuche an höheren Pflanzen sprechen zwar für eine hier vorhandene Polarität, bei niederen Pflanzen aber, z. B. Bryopsis und anderen Algen, gibt es nach *Winkler* keine feste Polarität: beide Enden herausgeschnittener Stämmchen von Bryopsis regenerierten bei gleicher Lichteinwirkung neue Stämmchen. Es besteht also hinsichtlich der Polarität ein Unterschied zwischen höheren und niederen Pflanzen, der nach *Tobler* auf der Gewebsdifferenzierung beruht und Hand in Hand geht mit der gesteigerten Arbeitsteilung in der Pflanze.

Einer ähnlichen Verschiedenheit begegnen wir bei den tierischen Organismen: während die höheren Tiere eine ausgesprochene Polarität aufweisen, ist sie bei niederen Tieren keineswegs konstant und unabänderlich, sondern kann experimentell umgekehrt werden. Wir werden darüber näheres in späteren Erörterungen mitzuteilen haben.

Die von *H. Przibram* hervorgehobene Analogie, daß die Krystalle wie die Organismen ein „Keimesminimum" *(H. Driesch)* zeigen, ist richtig, aber ohne tiefere Bedeutung. Das kleinste regenerationsfähige Stück von Hydra viridis ist eine Kugel von $^1/_6$ *mm* Durchmesser (*Fl. Peebles*, 1897). Und manche Krystallsplitter hören bei einer bestimmten Minimalgröße auf, in übersättigter Lösung Krystallisation hervorzurufen, also auch selbst zu Ganzen wieder heranzuwachsen. Aber diese Analogie betrifft, wie *H. Driesch* sagt, nur die Voraussetzung morphogenetischer Prozesse, nicht diese selbst.

Wie grundverschieden sich ein solcher morphogenetischer Prozeß tierischer Regeneration gegenüber der Krystallregeneration verhält, zeigt sich wieder sehr auffallend, wenn man den einfachen Wiederaufbau des Krystalls mit der komplizierten Wiederherstellung von Extremitäten bei gewissen Tieren vergleicht. *G. Tornier* (1900) fand nämlich, daß bei Superregeneration von Extremitäten bei Käfern zuerst die peripheren Charaktere der Neubildung angelegt werden und dann erst die zentralen! Bei Regenerationsprozessen dieser Art bei den Amphibien werden von Hautgebilden zuerst die basalen, dann die peripheren, von den zugehörigen Knochengebilden aber zuerst die Spitzenpartien, dann die basalen hergestellt. Ebenso fand *Goldmann* bei den zu der Orthopterengruppe gehörigen Phasmiden (Bacillus Rossii), daß der distalste Abschnitt der Beine, die Klaue, zuerst regeneriert wird.

Wäre die organische Regeneration ein der Krystallisation entsprechender Vorgang, so ließe sich nicht verstehen, wie aus gleichartigen Einheiten so verschiedene Gewebe und Organe entstehen könnten, wie sie das Regenerat vorstellen kann *(A. Weismann)*. Wir verstünden nicht, warum die Pflanzen so wenig, manche Tiere nur im Jugendstadium regenerieren; wir begriffen aber vor allen Dingen nicht, wie so komplizierte Regenerationserscheinungen, wie etwa die Postgeneration *(W. Roux)*, die heteromorphen *(J. Loeb)* und die superregenerativen Bildungen *(D. Barfurth, G. Tornier)* zustande kämen, ganz zu schweigen von den Selbstregulationen verschiedenster Art, denen man auf Schritt und Tritt bei jeder Regeneration begegnet.

Alle diese Unterschiede haben ohne Zweifel ihren Grund in der verschiedenen chemischen Struktur. Krystalle sind nach *H. Driesch* in jedem ihrer Raumdifferentiale gleichartig. Organismen aber gerade durchgängig verschiedenartig gestaltet (a. a. O. S. 59). Der Unterschied läßt sich nach *A. Rauber* auch so ausdrücken, daß bei den Krystallen ursprüngliche, bei den Organismen erworbene Strukturen vorliegen. Diese Verschiedenheit macht es begreiflich, daß Gifte die lebendige Substanz schnell töten, aber die Krystallbildung und -regeneration nicht hindern. Das Krystallmolekül hat eine verhältnismäßig einfache, festgefügte Struktur, während das lebendige Eiweiß „ein in fortwährender, nie endender Bildung begriffenes und sich wieder zersetzendes ungeheures Molekül ist, das sich wahrscheinlich zu den gewöhnlichen chemischen Molekülen wie die Sonne gegen ein kleinstes Meteor verhält“ *(E. Pflüger)*.

Nur aus solchen komplizierten Molekülen konnten die typischen Strukturen der einfachsten Lebewesen entstehen, die im Gebiete des anorganischen chemisch-physikalischen Geschehens nicht vorkommen. Den weiten Weg von einem Molekülkomplex dieser Art bis zum einfachsten Lebewesen hat *W. Roux* (1905, S. 111 ff.) aufgeklärt. Als Grundlage ist ein Gebilde anzusehen, welches die vier Elementarfunktionen der Selbstveränderung, Selbstaufnahme, Selbstanbildung (Assimilation) und Selbstausscheidung hat, aber noch kein Lebewesen ist. *Roux* nennt ein solches Gebilde nach seiner eigenartigsten Leistung, der Assimilation, Isoplasson (Gleiches Bildner); es entspricht dem *Verworn*schen Biogen. Ein Beispiel für ein solches Isoplasson ist die Flamme, welche auch bereits das Vermögen zu einem gewissen Grade der Selbstregulation hat, da sie bei stärkerem Verbrauch auch mehr Wärme bildet, mehr assimiliert und mehr ausscheidet. Die nächst höhere Stufe des Lebens stellen dann Gebilde dar, welche zu den Leistungen des Isoplasson noch die Fähigkeit der Reflexbewegung und der sogenannten Selbstbewegung haben. *Roux* nennt sie Autokineonten (Selbstbeweger). Ein Beispiel dafür liefern große schlaffe Gasflammen, die auf tönende Schallwellen hochgradig mit Gestaltsveränderung, also einer Reflexbewegung, reagieren. Isoplasson und Autokineon stellen die nötigen Vorstufen der niedersten Lebewesen, also die wirklichen Probionten dar. Und erst solche Gebilde, welche zu den Eigenschaften

des Autokineon noch die Fähigkeit zu denjenigen typisch geordneten Selbstbewegungen haben, die zur typischen Selbstteilung durch Halbierung, Vierteilung usw. erforderlich sind und welche neben den anderen Eigenschaften auch dieses Vermögen auf die Teilstücke übertragen, also vererben, sind als wirkliche Lebewesen niederster Stufe zu betrachten. Diese Form wird von *W. Roux* als Automerizon (Selbstteiler) bezeichnet. Beispiele dafür sind *Haeckels* Moneren, soweit sie kernlos sind und noch keine Membran bilden; ferner die in den höheren Organismen gefundenen und als niederste Lebenseinheiten gewürdigten Plasomen *(Wiesner)*, Biophoren *(Weismann)*, Pangene *(de Vries)* u. a.

An das Automerizon schließen sich dann höhere Stufen von Lebewesen, welche außer den Leistungen des Automerizons noch allerhand besondere gestaltende Leistungen in vererbbarer Form vollziehen, z. B. die Bildung eines abgegrenzten Kernes, einer Zellmembran usw. *Roux* nennt sie Idio-Autoplassonten (Selbstgestalter) oder kurz Idioplassonten (Gestaltungsstoffe) und gibt damit dem schon von *Nägeli* gegebenen Namen „Idioplasson" einen genaueren Inhalt.

Wenn eine spezifische, physikalische Eigenstruktur in dem Selbsterhaltungsgebilde entstanden ist und wenn diese vom Gebilde selber immer neu erzeugt wird, wie es in den meisten Zellen der Fall ist und wenn sie auf die durch Selbstteilung hergestellten Teilstücke übertragen, vererbt wird, tritt zu der vorher bloß chemischen Assimilation eine neue Art der Assimilation hinzu: die morphologische Assimilation, welche durch physikalische Faktoren determiniert werden muß. Auf ihr beruht dann in erster Instanz die morphologische Vererbung, die zu der durch die chemische Assimilation bewirkten chemischen Vererbung hinzutritt (*W. Roux*, l. c. S. 117). Mancherlei Gründe sprechen dafür, daß die morphologische Assimilation im wesentlichen an das Keimplasma gebunden ist.

Die Dauerfähigkeit aller dieser Gebilde bedarf für alle diese Leistungen der Selbstregulation, deren höchste Stufe sich in der morphologischen Selbstregulation äußert; auf ihr beruht die Konstanz der Arten.

Diese von *W. Roux* gegebene Übersicht über die großen Hauptgruppen von gestaltenden Wirkungsweisen der Organismen von den einfachsten, noch rein anorganisch chemisch-physikalischen bis zu den komplexesten spezifisch organischen ist sehr geeignet, den Enthusiasmus derjenigen Forscher zu dämpfen, welche die Kluft zwischen den Anorganismen und Organismen schon als ausgefüllt ansehen möchten. Der Kern des Unterschiedes in den Leistungen beider liegt ohne Zweifel darin, daß die Organismen die Fähigkeit der Assimilation besitzen, die den anorganischen Körpern fehlt. Ihre Bedeutung hat *Abderhalden* in einem ausgezeichneten Vortrage erläutert (2), der im Lichte neuerer physiologisch-chemischen Forschungen die Arbeit des Magendarmkanals mit seinen Fermenten bei der Verdauung der höheren Tiere aufklärt. Die Verdauung hat nicht nur

den Zweck, die nicht diffundierbaren Nahrungsstoffe soweit zu zerlegen, bis sie zur Resorption geeignet sind; „der Abbau der einzelnen Bestandteile der Nahrung muß vielmehr ein so tiefgehender und eingreifender sein, daß nichts mehr an den ursprünglichen spezifischen Bau erinnert und jede spezifische Struktur verschwunden ist" (*Abderhalden*, 2, S. 24). Schließlich bleiben noch indifferente Bausteine übrig, die „von der Darmwand resorbiert werden, und nunmehr kann der Organismus nach seinen eigenen Plänen bauen und die Bausteine zu Komplexen zusammenfügen, deren Struktur für ganz bestimmte Funktionen maßgebend ist" (Derselbe, S. 25).

Es ist bezeichnend für die Kompliziertheit dieser Vorgänge, daß sie leichter an höheren Organismen (Wirbeltieren) zu ermitteln sind, als an Einzelligen. Denn in den einzelligen Organismen spielen sich sämtliche Leistungen des Lebens in einer einzigen Zelle ab, während bei den höheren Tieren die Funktionen speziellen Organen zugewiesen werden, so daß sie hier isoliert studiert und aufgeklärt werden können (*Abderhalden*, 1, S. 5). Daß aber auch in den einzelligen Organismen der Stoffwechsel diejenige Leistung ist, die die einfachste Lebensform über den Krystall erhebt, wird aus den Ergebnissen der zellmechanischen Forschungen von *Bütschli*, *Quincke*, *W. Roux*, *Rhumbler*, *Bernstein* u. a. klar. An zellenähnlichen Tropfen von Öl, Gelatine u. a. lassen sich physikalisch-chemische Erscheinungen aller Art nachahmen, wie sie an wirklichen Zellen vorkommen, z. B. Oberflächenspannung, Chemotropismus, Thermotropismus usw. Wenn aber auch solche Zelltropfen einer Strecke der Zellarbeit Entsprechendes zu leisten vermögen, so fehlt ihnen doch das Vermögen, die ganze Skala von Zelleistungen ohne neue Eingriffe von außen her nacheinander ablaufen zu lassen. Die Zelle dagegen durchläuft selbsttätig einen ganzen Lebenszyklus, weil sie durch ihren Stoffwechsel ihre chemische Komposition und hiermit ihre physikalischen Koeffizienten und Konstanten fort und fort in gewissem Umfange zu ändern vermag (*Rhumbler*, S. 26 ff.). Der Stoffwechsel aber vollzieht sich nach den neuesten Untersuchungen in einzelligen Organismen unter wesentlich denselben Bedingungen wie bei Metazoen. So werden geformte (und wohl auch gelöste) Eiweißstoffe gelöst bzw. chemisch umgewandelt, wobei die gleichen Agenzien in Wirksamkeit treten wie bei höheren Tieren oder bei der intracellulären Eiweißverdauung in Pflanzenzellen, nämlich „proteolytische Enzyme" (*Biedermann*, S. 385). Aus diesen Gründen läßt auch *H. Przibram* den Stoffwechsel als wichtigstes Unterscheidungsmerkmal zwischen der organischen und anorganischen Welt gelten.

Diese Erörterungen haben gezeigt, daß es zwar einige oberflächliche oder nicht sehr tiefgehende Analogien, aber ebenso viele grundsätzliche Verschiedenheiten zwischen dem Verhalten der Krystalle und der Organismen bei der Bildung und Regeneration gibt.

Es mag nun zum Schluß noch die Frage gestreift werden, ob wir von der zukünftigen Erforschung der Krystallregeneration nicht dennoch

eine Aufklärung über die komplizierten Vorgänge der echten Regeneration bei Pflanzen und Tieren zu erwarten haben. Denn da die drei Forscher *A. Rauber*, *H. Przibram* und *O. Lehmann*, welche sich in der jüngsten Zeit am eingehendsten und erfolgreichsten mit der Krystallregeneration beschäftigt haben, übereinstimmend die Analogie dieses Vorganges mit einer Lebenserscheinung vertreten, so darf unser Urteil nicht einfach ablehnend sein, sondern wir müssen die Bedeutung der ermittelten Tatsachen für eine Überbrückung der Kluft zwischen Organismen und Anorganismen sorgfältig prüfen.

Eine solche Prüfung ergibt folgende für die Ähnlichkeit im Verhalten beider Naturkörper beachtenswerte Tatsachen, auf welche von mir (1906), *H. Przibram* (1906) und *L. Rhumbler* (1904) aufmerksam gemacht wurde.

1. In Regeneration begriffene Krystalle haben die Fähigkeit, aus gemischten Lösungen die ihnen verwandten Moleküle auszuwählen. Ein Chromalaunkrystall z. B. zieht aus einer Lösung von Chromalaun mit Chlorzink die Chromalaunmoleküle an *(A. Rauber)*. Wenngleich diese Fähigkeit ihren einfachen physikalisch-chemischen Grund in der leichteren Löslichkeit des Chlorzinks haben mag, so entspricht sie doch der Eigenschaft tierischer und pflanzlicher Zellen, aus den umgebenden Medien die ihnen passenden Moleküle auszuwählen: verschiedene Fucusarten nehmen nach *Pfeffer* unter gleichen Bedingungen aus dem Meerwasser verschiedene Salze und in ungleichen Mengen auf. Aus dem Gewebsplasma unseres Körpers nehmen die Knochenzellen Kalk, die Nierenzellen Harnstoff, die Fettzellen Fett auf. Bei Reparation der Tubulariaköpfchen spielt nach *C. Herbst* die $SO_4$" des Meerwassers insofern eine Rolle, als sie die Reparation — wie auch die Entwicklung — beschleunigt. Die Entwicklung der Kalkschwämme wird nach *Maas* durch Kalkentziehung gehindert. Ist kohlensaurer Kalk, wenn auch nur in Spuren vorhanden, so wird das Skelett gebildet; ist kein kohlensaurer Kalk da, so unterbleibt die Skelettbildung, auch wenn andere Kalksalze, z. B. Gips, in ansehnlicher Menge zur Verfügung stehen. Andrerseits können nach *C. Herbst* gewisse Stoffe bei Entwicklung des Echinideneies durch andere vertreten werden: K durch Rb oder Cs, Cl durch Br etc.

2. Die eigentümliche Tatsache, daß die Regeneration der Krystalle an den Wundflächen, wie oben erwähnt wurde, manchmal schneller geschieht als das gleichzeitige Wachstum an den Naturflächen, erklärt *Rauber* aus dem Verhältnis der Richtung der Wundflächen zu den Naturflächen. Werden durch eine Wundfläche Lamellen senkrecht oder schräg zu ihrem Verlaufe bloßgelegt, so ist das Wachstum (die Regeneration) stärker als an den Naturflächen, weil dann ein vorwiegendes Flächenwachstum stattfindet, welches immer schneller verläuft als das Dickenwachstum der Krystalle. Es bedarf also, wie *Rauber* sagt, nicht der Annahme einer besonderen „Krystallseele", welche das rasche Wachstum bedingt. *W. Roux* ist indessen (nach einer brieflichen Mitteilung) der Ansicht, daß die schnellere Regeneration an den Wundflächen der Krystalle

als eine „Art einfachster mechanischer Selbstregulation“ aufgefaßt werden kann und daß diese vielleicht für die Beurteilung der organischen Selbstregulation ebenso wichtig werden kann wie das Krystallwachstum für das organische Wachstum oder noch wichtiger (1896).

Für diese Auffassung sprechen nun ganz besonders die Beobachtungen von *H. Przibram* über die Regeneration „weicher“ Krystalle (Eiweißkörper. Krystalloide). Er wies nach, daß die durch Wasserzusatz experimentell abgerundeten Ecken von Hämoglobinkrystallen in der Nährlösung bald regeneriert wurden, ohne daß die Krystalle an anderen Stellen, als den Verletzungsstellen, zunahmen. Auch eine wichtige Beobachtung *Przibrams* an einem „starren“, anorganischen Krystall gehört hierher: er sah an einem verletzten Kalialaunkrystall, daß die Restitution der Krystallform durch Ablösung von Teilchen der unverletzten Krystallfläche und Ablagerung auf die verletzte Stelle erfolgte.

3. Die Analogien zwischen den Krystallen und Organismen sind durch *O. Lehmanns* Entdeckung „flüssiger“ Krystalle vermehrt worden. *Lehmanns* Werk verdient nach *L. Rhumbler* in dreierlei Hinsicht das Interesse derjenigen Biologen, welche die mechanischen Faktoren des Lebensgeschehens durch Vergleich mit denjenigen physikalischen Geschehens festzustellen und in ihrer Eigenart weiter zu erforschen bestrebt sind.

Der erste Vergleichungspunkt zeigt, daß die Frage, ob es flüssige Krystalle gibt, geradeso in der Schwebe liegt wie die Frage, ob die lebende Substanz flüssig sein kann. *Lehmann* hält gewisse rein krystallinische Substanzen für flüssig, weil sie frei schwebend vollkommene Kugelgestalt annehmen und „keine Spur von Verschiebungselastizität zeigen“, während *Tamann, Quincke* u. a. diese Substanzen als eine krystallinische Emulsion ansehen. Nach *Lehmann* gibt es außer diesen flüssigen Krystallen noch „fließende“, welche durch ihre eigene Oberflächenspannung nur an den Ecken und Kanten abgerundet wurden und bei gegenseitiger Berührung zusammenfließen.

Der zweite Punkt biologischen Interesses liegt darin, daß die Krystalle wegen ihres begrenzten Wachstumsvermögens, wegen ihres Auswachsens zu einer ganz bestimmten Form und wegen ihrer Regenerationsfähigkeit Analogien mit der lebenden Substanz darbieten. Wenn nun auch diese Analogien, wie *Rhumbler* hervorhebt und wie wir oben gesehen haben, schon aus dem Grunde nicht sehr dicht laufen können, weil ein Krystall aus lauter gleichwertigen, ein Organismus aber aus lauter ungleichwertigen Teilchen besteht, so bringen doch *Lehmanns* flüssige Krystalle einen Analogiepunkt von höherem Interesse, das ist die Aufrechterhaltung der Krystallstruktur mit all ihren optisch-physikalischen Eigentümlichkeiten trotz des flüssigen Zustandes der Gebilde.

Der dritte Punkt der Vergleichung besteht darin, daß der Organismus direkt krystallinische Bildungen, z. B. Schwammnadeln, Kalkschalen usw., abzuscheiden vermag.

Dies sind die beachtenswerten Tatsachen, die bei aller Verschiedenheit zwischen Krystallen und Organismen doch auf interessante Ähnlich-

keiten beider Gruppen hinweisen und für die Zukunft wohl noch wichtiger werden können. Sie machen es verständlich, daß *A. Rauber* am Schlusse seiner Untersuchungen eine „Frage an das Leben" richtet und für die Krystalle eine gewisse niedrige Form des Lebens in Anspruch nimmt. Trotz aller Unterschiede zwischen Krystall und Organismus scheint ihm die Benennung „belebte und unbelebte Natur" eine Ungerechtigkeit zu enthalten. „Beide Teile können als belebt gelten; der eine Teil befindet sich nur auf einer höheren Stufe des Lebens, der andere auf einer niedrigeren. Keineswegs sind jedoch die Leistungen der auf dieser Stufe stehenden Welt geringfügig zu nennen. Sie stellen vielmehr den Boden dar, auf dem die höhere Stufe erst sich zu erheben vermag."

Diese Auffassung hat ohne Zweifel eine Stütze in der Hypothese von *W. Roux* über die Entstehung des ersten Lebens durch sukzessive Züchtung der Grundfunktionen. Denn wenn ein so anerkannt kritischer Forscher wie *W. Roux* z. B. der Flamme wesentliche Ähnlichkeiten mit einem Lebewesen zuschreibt, so daß ihr die Qualität eines Isoplasson zuerkannt wird, dann kann auch der Krystall wegen seiner regenerationsähnlichen Leistungen einen Platz auf einer „Vorstufe" des Lebens beanspruchen. Damit macht nach *Rauber* die Einheit der Naturbetrachtung einen Schritt vorwärts und wir werden den Bestrebungen der Physiker und Biologen bei ihrer Arbeit auf diesem schwierigen Felde unser lebhaftes Interesse nicht versagen können.

„Da jetzt die Aufschließung dieses Gebietes wie eine Tunnelarbeit von beiden Seiten her in Angriff genommen ist, so wird man abwarten müssen, auf welcher Seite man schneller vorwärts kommt" (*Barfurth*, a. a. O. 1896, S. 427).

## B. Regeneration und verwandte Erscheinungen bei den Organismen.

Wir untersuchen nunmehr die echte Regeneration bei Pflanzen und Tieren. Die Beobachtungen auf diesem Gebiete sind so mannigfaltig und ergaben von der einfachen „Wiederherstellung" vielfach so abweichende Resultate, daß einige Forscher den alten Begriff „Regeneration" fallen lassen wollen, weil er nach ihrer Ansicht zu enge ist, um die untereinander oft sehr verschiedenen Arten der Wiedererzeugung und ihrer Produkte zu umfassen. Ich hatte die echte Regeneration der Organismen als „Wiederherstellung eines organisierten Ganzen aus einem Teil desselben" definiert (1891). *H. Przibram* faßt den Begriff weiter, um die regenerationsähnlichen Vorgänge an Krystallen mit hineinzubringen und definiert die Regeneration als „abermalige Bildung verloren gegangener Teile einer morphologischen Einheit" (1906). Andrerseits beschränkt *H. Driesch* den Begriff „Regeneration" so weit, daß er nur den „Ersatz durch Sprossung" als „Regeneration" will gelten lassen. Man sieht, daß hierbei die Auffassung der einzelnen Autoren maßgebend ist und daß Er-

örterungen über Definitionen nicht viel Wert beanspruchen können. Jedenfalls aber wird der alte Begriff der Regeneration in der von mir gegebenen Abgrenzung noch auf lange Zeit bei der großen Mehrzahl der Forscher Geltung behalten.

Diesem Begriff fügen sich die neu ermittelten Arten der Wiederherstellung organischer Formen ein, welche z. B. von *W. Roux* zusammengestellt wurden und später zu berücksichtigen sind.

Dagegen gehen über diesen Begriff hinaus einige Kategorien der „organischen Regulationen", die *H. Driesch* in einer verdienstvollen Schrift zusammengestellt und erläutert hat. Er hat alle Regulationen in zwei große Gruppen geteilt, in die Organisations- und die Adaptionsregulationen. Die einen stellen die Organisation wieder her, z. B. durch Regeneration, die anderen das gestörte Angepaßtsein an die allgemeinen Existenzbedingungen, mögen sie in Faktoren der Außenwelt oder in dem Organismus selbst angehörigen Faktoren gegeben sein. Die Regeneration einer verloren gegangenen Gliedmaße ist also eine Organisationsregulation, während die Bildung einer dickeren Cuticula bei zu starker Transpiration oder die Verwendung von Reservestoffen beim Hungern eine Adaptationsregulation ist. Die sämtlichen Erscheinungen der Regeneration faßt *Driesch* als Restitutionen oder Wiederherstellungsregulationen zusammen.

Für unsere Untersuchung kommen also nur die „Restitutionen" in Frage, für welche ich aus angegebenen Gründen den alten Namen „Regeneration" beibehalte. Die verwandten Erscheinungen werden in den einzelnen Kapiteln zu definieren sein.

## I. Regeneration und Verwandtes bei Pflanzen.

Wenn man von einem Laubblatt oder Sproß ein Stück abschneidet, so erfolgt keine echte „Regeneration", d. h. Wiederherstellung der verstümmelten Einheit, sondern es bildet sich aus meist schon vorhandenen Knospen ein neues Blatt oder ein neuer Sproß. Die Pflanzen reagieren also auf solche Eingriffe in der Regel mit einer Neubildung, die man nur mit einer bestimmten Einschränkung als „Regeneration" bezeichnen darf. Daneben haben freilich die Pflanzen auch die Fähigkeit der echten Regeneration von Zellen und Organen. Auch die der tierischen Regeneration häufig vorausgehenden Erscheinungen der Wundheilung und Vernarbung fehlen bei Pflanzen nicht und ebenso haben wir besonders durch *Vöchting* bei ihnen die tierischen Objekten innewohnenden, der Regeneration verwandten Fähigkeiten der Transplantation, der vikariierenden Hypertrophie, der Kompensation u. a. kennen gelernt. Außer zusammenfassenden Angaben *Vöchtings* über die Ergebnisse seiner grundlegenden Experimente haben wir in der botanischen Literatur übersichtliche Zusammenstellungen über die uns beschäftigenden Vorgänge von *B. Frank* (1879), *K. Goebel* (1902), *B. Němec* (1905), *E. Küster* (1903) u. a., denen ich in der nachfolgenden Besprechung vielfach folge.

### a) Wundheilung und Vernarbung.

Als einfachsten „Wundverschluß" kann man einige experimentell herausgeforderte Vorgänge an niederen Pflanzen ansehen, die von *Pfeffer* und *Klemm* beobachtet wurden.

*Pfeffer* sah an Schnittflächen durch Plasmodienstränge der Myxomyceten sich eine neue Hautschicht (Membran) bilden. Außerdem konnte er die „regenerative Neubildung" von Vakuolen und einer Vakuolenhaut dadurch erzielen, daß er die Plasmodien zunächst feste Partikel löslicher Stoffe in gesättigter Lösung aufnehmen ließ und dann durch Auswaschen mit Wasser eine partielle Lösung der eingeführten Fremdkörper einleitete.

*P. Klemm* beobachtete bei Siphonaceen (Derbesia) nach einer Kontinuitätstrennung eines Schlauches eine rasche und vollständige Verheilung, indem das Protoplasma sich wieder zum einheitlichen Schlauch zusammenschloß und sich mit einer Membran bedeckte.

Die Vorgänge, die sich nach Verwundungen abspielen, können nach *Massart* entweder nur in der Ausbildung eines neuen Abschlußgewebes bestehen oder es können außerdem Ergänzungen durch die Verwundung verloren gegangener Teile der Pflanze eintreten.

Bei den höheren Pflanzen ist beides wohl auseinander zu halten, bei den einfach gebauten niederen Pflanzen dagegen oft nicht zu trennen.

Deshalb gibt *Massart* bei den Thallophyten ein Gesamtbild der auf Verletzungen folgenden Strukturen, die besonders je nach der Struktur des Thallus verschieden sind.

Die Bildung eines besonderen Wundabschlußgewebes tritt allgemein erst bei den Cormophyten auf und deshalb spricht *Massart* erst diesen eine wirkliche Vernarbung zu; sie ist bei den Archegoniaten auch noch sehr unvollkommen.

Der Vernarbungsprozeß bei den Phanerogamen besteht im wesentlichen in der Teilung mehr oder weniger tief unter der Wundfläche gelegener Zellen, deren Tochterzellen den Charakter von Oberflächenzellen annehmen.

*Massart* schreibt die Vermittlung der Teilungen, die hier amitotisch sind, einem von der Wundfläche ausgehenden Zellvermehrungsreiz zu, die Verkorkung einem mit der Transpiration in Beziehung stehenden Verkorkungsreiz *(Klemm)*. Der so gebildete Kork wird als „Wundkork" bezeichnet *(Strasburger)*, mit dessen Herstellung bei krautartigen und parenchymatischen Pflanzenteilen die Heilung meist vollzogen ist. Bei holzigen Gewächsen kommt es in der Regel durch Wucherung der angrenzenden Zellen zur Bildung eines sogenannten Callus, der unmittelbar verkorken kann; meist aber bildet sich in der Peripherie des Callus ein Phellogen, das Kork erzeugt. Wunden am Stamm der Gymnospermen und Dicotylen, die bis in den Holzkörper reichen, werden durch Wucherung des angrenzenden Stammcambiums überwallt.

Die nach Verwundung von Zellen oder Plasmolyse eintretende Neubildung von Membransubstanz ist im allgemeinen abhängig von der Gegenwart eines Zellkerns *(E. Küster)*. Indessen hat neuerdings *Palla* an Objekten verschiedener Art dargetan, daß auch kernlose Zellenstücke eine Membran bilden können.

Man sieht, daß in allen diesen Fällen die Selbstregulation der Pflanze darauf ausgeht, die Wunde provisorisch und später definitiv zu bedecken und dadurch den Abschluß von der Außenwelt, der die Grundbedingung des Lebens ist, herzustellen. Hier liegt nur insofern eine „Regeneration" vor, als z. B. die Cambiumschicht wie normal nach innen Holz, nach außen Bast bildet und dieser durch den Wundreiz gesteigerte Vorgang zur Deckung des Defekts benutzt wird.

### b) Echte Regeneration.

Bis vor wenigen Jahren waren die Beobachtungen über echte Regenerationserscheinungen an Pflanzen recht spärlich. Aber ihre Zahl ist durch die Untersuchungen der jüngsten Zeit erheblich vermehrt worden. Und gerade bei den einfacheren Formen der Pflanzenwelt ist wie in der Tierwelt der Ersatz experimentell entfernter Teile häufiger, als wir bis vor kurzem annahmen. Auch hier hat die von *W. Roux* eingeführte entwicklungsmechanische Forschung anregend gewirkt und gute Früchte getragen.

Die Regenerationsvorgänge bei den Algen (Spirogyra, Bryopsis, Vaucheria u. a.) teilt *S. Prowazek* in drei Gruppen. Zuerst löst die Verletzung Reiz- und Verwundungserscheinungen aus. Wie schon den früheren Beobachtern (*Frank, Hanstein, Kretschmar* u. a.) bekannt war, treten nach der Verwundung Plasmastörungen auf. Nach stärkeren Reizen zerfällt manchmal das Cytoplasma in einem Bryopsiszellfaden in mehrere Tropfen, die an der Peripherie eine Niederschlagsmembran bilden können. Solche Membranen können z. B. bei Spirogyra zu richtigen Zellmembranen umgebildet werden und damit die Regeneration einleiten. Die zweite Gruppe der Vorgänge ist durch die eigentliche Regeneration charakterisiert. An einer beliebigen durch die Strömungen in keiner Weise bestimmten Stelle des Protoplasmatropfens entsteht z. B. bei Vaucheria ein Höcker, der zu einem typischen Algenfaden auswächst. Es regenerieren nur Protoplasten, die Kerne enthielten; kernlose Teile regenerieren nicht, nach Analogie der Protozoenfragmente in den Versuchen von *Brandt, Nussbaum, Gruber, Balbiani, Hofer, Verworn* u. a. Freilich regenerieren auch nicht alle kernhaltigen Algenfragmente, sondern anscheinend nur solche, bei denen die Kernmasse zum Protoplasma in einem bestimmten lebensfähigen Verhältnis steht. Außerdem ist eine bestimmte Größe des Protoplasten, ein Keimesminimum, nötig. Die dritte Gruppe der beobachteten Vorgänge bildet die „überschreitende" Regeneration, die sich z. B. bei Spirogyra in dem Auswachsen geweihartiger, rhizoidförmiger Zellfortsätze äußerte.

Durch zahlreiche Experimente wurde von *W. Figdor* und *E. Wulff* der Nachweis erbracht, daß die Meeresalge Dasycladus clavaeformis im-

stande ist, die durch quere Amputation verloren gegangene Sproßspitze in ihrer ursprünglichen Gestalt wieder herzustellen. Auch gelang es bei geeigneter Versuchsanstellung, und zwar unter dem Einflusse des Lichtes, den Wurzelpol in einen Sproßpol umzuwandeln, also eine Umkehrung der Polarität herbeizuführen.

Bei Polysiphonia kann nach den Beobachtungen von *P. Falkenberg* die Spitze abgetrockneter Äste regeneriert werden, was von *F. Tobler* bestätigt wurde. Daneben kommt nach *F. Tobler* eine „Reproduktion" (Bildung von Rhizoiden am Basalende) vor. Derselbe Forscher fand echte Regeneration bei Ceramium strictum, deren starre Sprosse leicht der Verletzung ausgesetzt sind.

Die von *Correns* und *Goebel* festgestellte Regenerationsfähigkeit der Laubmoose wurde neuerdings von *Westerdijk* untersucht und bestätigt. Nach Verletzungen an den Polen entstehen Rhizoide oder Protonema. Die Eigenschaft, Regenerationsfäden zu erzeugen, ist am basalen Pol viel stärker ausgeprägt als am apikalen, gleichgültig, ob die Fäden als Rhizoiden oder Protonema ausgebildet sind. Die Natur dieser Gebilde wird dann durch äußere Umstände (Licht, Kontakt) bestimmt. Daher spricht der Verfasser den Moosen eine bestimmte Polarität, d. h. „eine bestimmte Verteilung der organbildenden Stoffe" ab.

Die Regenerationsversuche beim Champignon von *W. Magnus* lehrten, daß im jüngsten Zustande der Fruchtentwicklung keine Regeneration beobachtet werden konnte, da der Pilz den operativen Eingriff noch nicht vertrug. Erst wenn die Anlage der Hymenialschicht im Innern schon ausgebildet ist, beginnt die Regenerationsfähigkeit. Wird die Hymenialschicht nicht mitverletzt, so wird die Wunde sehr bald völlig ausgeheilt; aber eine Regeneration des Hymeniums selbst findet ausschließlich im Anschluß an schon vorhandenes statt, wobei für die Neubildung die Lage im Raum sowohl wie in bezug auf die Hutfläche gleichgültig ist. Im älteren Wachstumsstadium findet noch eine geringe Neubildung von Hymenium statt und im noch älteren, sogenannten Streckungsstadium verliert der Pilz die Regenerationskraft vollständig. — Beachtenswert ist die Beobachtung von *Magnus*, daß sich bei Hutpilzen ein Regenerat der *Barfurth*schen Regel entsprechend stets senkrecht zur Wundfläche stellt.

*W. Figdor* stellte fest, daß die Blattspreite des Farns Scolopendrium einer echten Regeneration fähig ist. Von der Blattspitze junger, eben aufgerollter Blätter wurde senkrecht zur Richtung des Medianus ein sehr kleines Stück abgeschnitten. Es trat nun stets eine Spaltung des Vegetationspunktes und Hauptnervs ein und die Blattspreite regenerierte jederseits, zuweilen als Schwalbenschwanzbildung.

Auch bei höheren Pflanzen (Phanerogamen) kommt echte Regeneration vor. Nach einer Zusammenstellung von *H. Winkler* wurde beobachtet die Ergänzung eines experimentell halbierten Vegetationspunktes von Helianthus zu einem völlig normalen Ganzen (*Leo Peters*), die Regeneration der Blattspreite bei den Primärblättern von Cyclamen (*Hildebrand*),

der Blattspitze bei einer javanischen Asklepiadee *(Raciborski)*, der Blattspreiten bei Laubblättern von Cyclamen *(Winkler)*, von Streptocarpus Wendlandi und Monophyllaea Horsfildii *(W. Figdor)* u. a. Die Regeneration durchschnittener Gefäßbündel in den Blättern mancher Pflanzen erfolgt nach denselben Prinzipien wie in den Stengeln und Wurzeln *(Freundlich)*.

Daß auch die Wurzeln regenerieren, hat *B. Němec* in einer eingehenden Untersuchung an Farn, Equisetum und Phanerogamen (Vicia faba u. a.) nachgewiesen. Die Neubildung der Wurzelspitze geht bei quer dekapitierten Wurzeln ringsherum an der Wundfläche gleichmäßig vor sich und liefert direkt ein radiäres Regenerat. Die Regeneration beginnt mit der Differenzierung einer Callushypertrophie, die zu einer provisorischen Wurzelhaube wird. Dann differenziert sich ein bogenförmiges Meristem an der Grenze zwischen der Callushypertrophie und dem Wurzelmeristem und an seinem Scheitel entsteht der Vegetationspunkt für die neue Wurzelspitze. Nach einem schrägen Dekapitationsschnitt wird der Regenerationsvorgang in die äußerste Spitze des Wurzelstumpfes verlegt und geht nur an einem beschränkten Teile der Wundfläche vor sich. Wird nicht die ganze Wurzel abgeschnitten, sondern bloß ein schräger Einschnitt von oben her angelegt, oder werden zwei in gleicher Höhe von entgegengesetzter Seite quer oder schräg von unten geführte Einschnitte angebracht, so werden ebenfalls regenerative Vorgänge ausgelöst, die in letzterem Falle unter günstigen Umständen zur Bildung von zwei neuen Wurzelspitzen führen können. Zwei neue Spitzen werden auch gebildet, wenn die Wurzel durch zwei schräg von unten geführte Einschnitte dekapitiert wird oder wenn sie dekapitiert und gespalten wird. Soll eine Regeneration normal vor sich gehen, so muß sie an einem Gewebekomplex stattfinden, welcher aus einer genügend großen Anzahl von Zellreihen besteht, also den Anforderungen eines „Keimesminimum" nach *H. Driesch* entspricht: außerdem muß dieser Gewebekomplex bestimmte Zellarten, nämlich das Perikambium und die ihm anliegenden Plerom- sowie Periblemschichten enthalten.

Auch eine echte embryonale Regeneration kommt bei Pflanzen vor. *Hans Kniep* beobachtete an 5—8 Tage alten vielzelligen Keimlingen von Fucus vesiculosus und serratus, bei denen durch Verdünnung des Meereswassers die basale Spitzenzelle geplatzt und abgestorben war, daß nunmehr die über der abgetöteten Spitzenzelle liegende Zelle in Spitzenwachstum eintritt und die Führung übernimmt. Auch im Zweizellenstadium übernahm nach Abtötung der Basalzelle die Apikalzelle die Keimung. Das entspricht also dem Verhalten tierischer Eier im Zweizellenstadium, bei welchem nach Abtötung einer Blastomere die andere den ganzen Embryo bildet.

An diese Leistungen embryonaler Zellen werden wir durch Versuche von *R. Jaccard* erinnert, welcher fand, daß bei Picea excelsa einige Zellen des Markzwischenstückes einige Zeit ihren embryonalen Charakter bei-

behalten und unter dem Einfluß eines Reizes, z. B. eines im Laufe des Wachstums ausgeübten Druckes neue Elemente, nämlich Tracheiden, bilden können (1910). Auch die physiologische Tätigkeit im Marke vieler Holzarten, z. B. Teilungen der Markzellen, kann sich nach *Th. Hartig* und *A. Gris* (1910) jahrelang erhalten.

Überhaupt gilt nach *Goebel* die Regel, daß im allgemeinen nur embryonale Gewebe entfernte Teile neu zu bilden vermögen, sei es durch echte Regeneration oder durch regenerative Neubildung, z. B. bei den Farnprothallien. Bei Pflanzenteilen, die in den Dauerzustand übergegangen sind, wirkt die Abtrennung und Verletzung dahin, daß ein Teil der Zellen wieder in den embryonalen Zustand übergeht und dadurch zu Neubildungen befähigt wird. Diese Vorbereitung zur Regeneration spielt als „Entdifferenzierung" *(H. Ribbert)* bei tierischen Objekten ebenfalls eine große Rolle.

### c) Regenerative Neubildung.

Wie schon im Eingange dieses Kapitels bemerkt wurde, reagieren die Pflanzen auf eine Verletzung in der Regel nicht mit einer echten Regeneration, sondern mit einer Neubildung. Da sie durch den Wundreiz ausgelöst wird und gewissermaßen das Regenerat vertritt, nenne ich sie „regenerative Neubildung".

Für unsere Anschauungen auf diesem Gebiet sind vor allen Dingen die Versuche *Vöchtings* grundlegend geworden. *Vöchtings* Hauptergebnis ist, daß „in jedem größeren oder kleineren Komplex lebendiger Zellen die inneren Bedingungen gegeben sind, aus denen sich unter geeigneten äußeren Faktoren das Ganze aufbauen kann". In seiner schönen experimentellen Studie „Über Teilbildung im Pflanzenreich und die Wirkung innerer und äußerer Kräfte auf Organbildung an Pflanzenteilen" lieferte er die Grundlagen für seine Theorie. An welchem Ort man eines der von ihm verwandten pflanzlichen Gebilde durchschneiden mag, es entsteht dadurch eine Spitze und eine Basis und es hängt ganz von unserer Willkür ab, denselben Ort zur Spitze oder zur Basis zu machen. Sind an den genannten Enden eines isolierten Stückes ruhende Anlagen vorhanden, so bilden sich diese aus; finden sich keine vor, so werden sie neugebildet.

Sie gehen gewöhnlich direkt oder durch Vermittlung eines Callus aus Cambialgewebe hervor, können aber auch (wie bei Begonia) direkt aus den schon völlig in Dauergewebe übergegangenen Zellen der Epidermis und der äußeren Rinde entstehen. „Daraus folgt, daß keine vegetative Zelle am Pflanzenkörper eine spezifische und unveränderliche Energie besitzt, sondern daß ihre Funktion bestimmt wird durch das physiologische Individuum, von dem sie einen Teil bildet. Und zwar ist es in erster Linie der Ort an der Lebenseinheit, welcher die Funktion der Zelle bestimmt." *Vöchting* konstatierte ferner bei seinen Versuchen die Wirksamkeit einer inneren Kraft, derzufolge z. B. nur die Basis — mag sie nach

oben oder nach unten gerichtet sein! — mit Wurzeln versehen wird, und äußerer Kräfte, des Lichtes und der Schwerkraft.

Bei seinen Versuchen an Marchantiaceen stellte *Vöchting* fest, daß an einem quergeschnittenen Thallus neue Vegetationspunkte entstehen. Wird ein Organ, das keinen Vegetationspunkt besitzt (ein Brutbecher, ein Inflorenzstiel oder -strahl) von der Pflanze getrennt, so geht die Neubildung an der Basis vor sich. Dazu ist zu bemerken, daß die spezifische Natur der Schnittfläche den Charakter der an ihr entstehenden Neubildungen bestimmt, so daß ein Wurzelstück an der Spitze neue Wurzeln, an der Basis Sprosse erzeugt.

Diese Prinzipien regenerativer Neubildung mögen nun nach den Zusammenstellungen von *B. Frank*, *Goebel* u. a. noch durch einige Beispiele illustriert werden.

Verlust und Verletzungen der Wurzeln werden repariert, indem die Wurzelspitzen wieder ein neues, mit aufsaugungsfähigen Wurzelhaaren versehenes Stück bilden oder neue Seitenwurzeln getrieben werden.

Der Verlust von Knospen oder jüngeren Zweigen der Holzpflanzen wird durch Bildung von Ersatztrieben aus Knospen verschiedener Art ausgeglichen. Solche Knospen sind entweder schon vorhanden (schlafende Knospen in den Achseln von Laubblättern, Beiknospen neben den größeren Achselknospen, Sekundärknospen in der Achsel der untersten Schuppen der Knospen von manchen Holzpflanzen) oder sie sind unter normalen Verhältnissen gar nicht vorhanden, sondern werden erst infolge der Verstümmlung angelegt und dann zur Triebbildung benutzt. In allen Fällen geht die Bildung von Ersatzknospen von sogenannten „Vegetationspunkten" aus, die unter normalen Verhältnissen auf ihrer ersten Anlage stehen bleiben können und erst durch die Verwundung zu wirklichen Knospen ausgebildet werden.

Haben Bäume den Gipfel oder ältere Äste verloren, so geschieht der Ersatz durch Ausbildung von Adventivknospen, d. h. durch nicht vorgebildete, sondern im Cambium an beliebigen Stellen neu sich bildende, daher aus der Rinde hervorbrechende Knospen; selten finden sich an so alten Teilen noch schlafende Knospen.

Geht der ganze Stamm eines Laubholzes verloren, so bilden sich ebenfalls Adventivknospen unter der Rinde des Stumpfes oder seiner Wurzeln. Nadelhölzer haben diese Fähigkeit nicht, gehen deshalb nach Verlust des Stammes meist zugrunde.

Verlust der Laubblätter kann durch Ausbildung des „Johannistriebes", d. h. proleptisch durch Entwicklung der sonst für das nächste Jahr bestimmten Knospen ersetzt werden.

Die neuere Forschung hat aber gezeigt, daß auch die Zellen der Laubblätter selber zu einer regenerativen Neubildung befähigt sind. Schneidet man bei gewissen Pflanzen (Begonia, Achimenes, Torenia) ein Laubblatt ab und steckt es mit dem Blattstiel in einen Nährboden, so bilden sich an der Basis des Stiels oder auch an anderen Stellen Sprosse

aus den Epidermiszellen *(Vöchting, Goebel, Winkler)*. Nach *Stingl* (1909) ist diese Fähigkeit der Laubblätter weit verbreitet bei Pflanzen, die sich seit langem in Kultur befinden, ist aber bei wildwachsenden Arten selten.

Diese Sproßbildung auf Laubblättern kann nach *Goebels* Versuchen an Utricularia auch ohne Isolation der Blätter auftreten, wenn alle Vegetationspunkte entfernt sind. Die Entfernung der Vegetationspunkte kann nach *Richms* Versuchen an Cardamine ersetzt werden durch eine Durchschneidung der Gefäßbündel, auf welche dann ebenfalls Adventivbildung der Epidermiszellen in den Blättern folgt. In diesen Fällen tritt also, wie *H. Driesch* sagt (1905—1908, S. 142), „überzählige Neubildung im Gefolge der Funktionslosigkeit einer Altbildung" auf. So findet die Restitution der Wurzelspitze durch Adventivknospen auch dann statt, wenn die Wurzelspitze eingegipst wird *(Pfeffer, Nordhausen)*.

Auch die Ranken mancher Pflanzen, die nach *Harms* Blütenstielen homolog sind, besitzen eine latente Fähigkeit regenerativer Neubildungen. Nachdem schon *Vöchting* (1900) an den Ranken einiger Pflanzen, die als Stecklinge behandelt wurden, Bildung von Wurzeln gesehen hatte, fand *Winkler* (1905), daß Ranken von Passiflora coerulea nicht nur Wurzeln, sondern auch Sprosse zu bilden vermochten.

Alle diese Tatsachen sprechen für *Vöchtings* Auffassung, daß die Möglichkeit der Bildung des ganzen pflanzlichen Organismus in jeder Zelle gleichermaßen vorhanden ist.

### d) Transplantation.

Die seit alter Zeit bekannte und geübte Praxis des Okulierens und Pfropfens bei Pflanzen beruht auf der Fähigkeit der Transplantation, d. h. auf der Fähigkeit embryonaler oder auch älterer Pflanzenteile, nach geeigneter Vereinigung mit einem anderen pflanzlichen Objekt sich hier zu entwickeln und fortzuleben. Es handelt sich also bei diesem Vorgange um eine komplizierte Art von Wundheilung, bei welcher die künstlich gesetzte Wunde durch das Pfropfreis geschlossen wird. Und da die Wundheilung der erste sichtbare Akt der Regeneration ist, so gehört auch die „Transplantation" zu den der Regeneration nahe verwandten Vorgängen.

Wenn die Transplantation zu einer dauernden Vereinigung des Transplantats mit der Unterlage führt, also die Daseinsbedingungen der Teile, Nahrung und Reiz, gewährt, so ist sie nach *W. Roux* als funktionelle Transplantation oder Implantation zu betrachten. Nähere begriffliche Unterscheidungen sind bei der tierischen Transplantation zu geben.

Das Wesen der pflanzlichen Transplantation ist besonders durch *Vöchtings* Experimente aufgeklärt worden. Sie ergaben, daß man gleichnamige und auch ungleichnamige Gebilde miteinander verbinden kann. Er setzte auf die Wurzel nicht nur den Stengel, sondern auch das Blatt; er pflanzte dem Stengel nicht nur das Blatt, sondern auch die Wurzel ein und vermochte dem Blatt sowohl den Stengel als die Wurzel einzufügen;

endlich baute er eine ganze Pflanze auf die andere und beobachtete ein vortreffliches Gedeihen der verbundenen Objekte. Wie mannigfaltig aber auch die Transplantationen waren, stets behielten die verpflanzten Glieder ihre morphotische Natur bei; ein Sproß blieb Sproß, eine Wurzel blieb Wurzel, gleichviel wohin sie am Körper gesetzt wurden.

Aus diesen Ergebnissen kann man schließen, daß am Pflanzenkörper kein Organisationsprinzip vorhanden ist, welches eine unabänderliche Folge der Hauptglieder bedingt. Die fundamentale Bedingung für das Gelingen aller dieser Versuche aber ist, daß die verpflanzten Glieder oder Gewebsstücke normale Stellung erhalten, und dies lehrt uns nach *Vöchtings* Auffassung, daß jede lebende Zelle der Wurzel und des Stengels nicht nur in longitudinaler, sondern auch in radialer Richtung polar gebaut ist, so daß für Transplantationen wenigstens bei höheren Pflanzen der Satz gilt: Gleichnamige Pole stoßen sich ab, ungleichnamige ziehen sich an.

*Vöchting* untersuchte auch die Wechselbeziehungen zwischen Reis und Grundstock (Symbiose) und fand ernährungskorrelative und infektiöse Einflüsse, nicht aber differenzierende Wechselwirkungen. So prüfte er später wiederholt und sorgfältig die zuerst von *Maule* in Bristol und darauf von *Carrière* durch Pfropfen ausgeführte Verbindung von Helianthus tuberosus und Helianthus annuus und gelangte zu folgendem Schluß: Verbindet man Individuen der Sonnenblume und des Topinambur, Helianthus annuus und H. tuberosus L. miteinander durch Pfropfung, so treten sie zu wohl gedeihenden Lebensgemeinschaften zusammen. Jeder Teil übernimmt und führt die Rolle im Haushalte des Ganzen aus, die man ihm zuweist, indem man ihn entweder als Reis oder als Grundstock verwendet. Beide aber bewahren in der Verbindung ihre spezifische Natur, keine erfährt von der anderen einen ihren Artcharakter verändernden Einfluß.

Diese Sätze sind durch die Forschung bestätigt und bedürfen nur einer Modifikation in bezug auf die Pfropfbastarde, die später besprochen werden sollen.

Für die gegenseitige Beeinflussung von Unterlage und Reis in bezug auf Ernährung, Wachstum, Alter usw. mögen hier nach den Angaben von *Vöchting*, *L. Jost*, *L. Daniel*, *Laurent* u. a., die in dem kritischen Referat von *E. Korschelt* (1908) zusammengestellt sind, einige Beispiele angeführt werden.

Zwergobstbäumchen lassen sich züchten, wenn man z. B. geeignete Apfelsorten auf den Johannisapfel (Malus paradisica) oder Birnen auf die Quitte (Cydonia vulgaris) pfropft. Da in diesen Fällen die Unterlagen an sich eine geringe Höhe haben, so beeinflussen sie die aufgesetzten Pfropfreiser in der Weise, daß sie auch niedrig bleiben und einen strauchartigen Wuchs zeigen. Andrerseits gedeihen z. B. Pfropfreiser des Bittersüß (Solanum dulcamara) auf dem Liebesapfel (Solanum lycopersicum) besser als auf Individuen der eigenen Art.

Auch ein Einfluß auf die Lebensdauer ist beobachtet worden. Der Pistazienbaum erreicht nach *Vöchting* als Sämling gezogen ein Alter von

150 Jahren. Wird aber Pistacia vera auf P. terebinthus gepfropft, so lebt sie 200 Jahre, auf P. lentiscus dagegen nur 40 Jahre. Als *Vöchting* Reiser des perennierenden Bittersüß (Solanum dulcamara) auf die Tomate (S. lycopersicum) als einjährigen Grundstock aufsetzte, entwickelten sie ein üppiges Wachstum und ließen sich auch bis in den Winter hinein halten, gingen aber doch schließlich Ende Dezember und im Januar zugrunde. Die Experimente *Daniels*, der z. B. einjährige Triebe des perennierenden Tanacetum balsamita auf die ebenfalls perennierende Margarite Anthemis frutescens mit dem Erfolge übertrug, daß die Pfropfungen im Kalthaus den Winter überdauerten und Blüten hervorbrachten, sprechen für eine Beeinflussung der Lebensdauer des Pfropfreises durch die Unterlage. Andrerseits kann auch die Lebensdauer der Unterlage durch das Pfropfreis verlängert werden: Als *H. Lindemuth* Reiser des strauchartigen, verholzenden Abutilon Thompsoni auf die einjährige Malvenart Modiola carolineana verpflanzte, wurde das Leben der einjährigen Unterlage auf etwa $3^1/_2$ Jahre verlängert.

Eine Stoffwanderung aus der Unterlage in das Reis und umgekehrt darf aus den Ergebnissen der Transplantationen ohne Zweifel gefolgert werden. Die Früchte des Kirschbaumes erhalten einen ganz verschiedenen Geschmack, je nachdem das Pfropfreis auf die Vogelkirsche (Cerasus avium) oder den Kirschlorbeer (Prunus lauro-cerasus) aufgesetzt wird. Werden verschiedenartige Reiser derselben Unterlage aufgepflanzt, so wird der von der Unterlage ausgehende Substanzstrom in den einzelnen Pfröpflingen nach ihrer Eigenart verwertet. Den Höhepunkt dieser Kultur hat wohl der kalifornische Züchter *Luther Burbank* erreicht, der Pflaumenbäume mit 40—50 Sorten verschiedener Früchte erzielte.

Andrerseits findet eine Wanderung von Substanzen (Kohlehydrate) aus dem Pfropfreis in die Unterlage bei einem bekannten Pfropfobjekt statt: Setzt man den Liebesapfel (Solanum lycopersicum) auf die Kartoffel, so entstehen am oberen Teil das Kraut und die wohlentwickelten Früchte der Tomate, an der Unterlage dagegen ebenfalls gut ausgebildete große Kartoffelknollen. Hier behält jeder Teil der zusammengesetzten Pflanze seine morphologische Eigenart und seine spezifische Funktion; aber die von den oberirdischen Teilen produzierten Stoffe werden in den Reservestoffbehältern (Kartoffelknollen) des andersartigen Grundstockes in der diesem letzteren eigentümlichen Form und Beschaffenheit niedergelegt (*Korschelt*, 1908, S. 508).

Aber nicht nur Kohlehydrate wandern durch die Pfropfstellen hindurch, sondern auch nichtplastische Stoffe, Alkaloide. Versuche von *A. Meyer* und *E. Schmidt* (1910) zeigten, daß die Alkaloide des Stechapfels und des Tabaks durch die Pfropfstellen hindurch zu wandern vermögen, nachdem schon *Strasburger* (1906) in den Kartoffelknollen der Pfropfung vom Stechapfel (Datura stramonium) auf die Kartoffel (Solanum tuberosum) Spuren von Atropin aufgefunden hatte; dieses mußte also von der Datura in die Unterlage übergegangen sein. Der experimentelle Nach-

weis dieser Wanderung wurde dann von *A. Meyer* und *E. Schmidt* erbracht (1910).

Eine infektiöse Beeinflussung findet bei Übertragung der bekannten „Panachüre" durch Pfropfung statt. Die Panachüre (Chlorose) entsteht durch Umbildung oder Rückbildung der Chlorophyllkörner an einzelnen Stellen der Laubblätter mancher Pflanzen, deren an sich grüne Blätter alsdann weiße Flecken zeigen. Pfropft man ein einziges krankes Blatt dieser Art auf ein gesundes, also ganz grünlaubiges Individuum einer verwandten Spezies, z. B. bei Malvaceen, Laburnum Sorbus, Ptelea, so wird damit die Buntblätterigkeit auf die Pflanze übertragen (*E. Bauer*, 1910). Ebenso nehmen nicht gefleckte Zweige nach Überpflanzung auf eine panachierte Unterlage die Fleckung an *(H. Lindemuth)*. Die Übertragung der Panachüre ist nach *E. Baur* lediglich eine „infektiöse Chlorose" und hat mit einem „Bastardierungsvorgang", den man früher annahm, nichts zu tun.

Und nun zum Schluß noch ein Wort über die Bastardierungen, die durch Pfropfung erzielt wurden. Die gewöhnlichen oder sexuellen Bastarde entstehen durch Vereinigung der Keimzellen zweier Eltern von verschiedenen Arten oder Varietäten. Von diesen Bastarden sind die Pfropfbastarde zu unterscheiden, die als Neubildungen an den Pfropfstellen unter Beteiligung der somatischen Zellen beider Symbionten, der Unterlage und des Pfropfreises, entstehen. Ihre experimentelle Herstellung war seit langer Zeit das Ziel vieler Botaniker und galt in einigen Fällen als tatsächlich erreicht. Zu diesen gehört der Cytisus Adami, eine Okulierung von Cytisus purpureus auf Laburnum vulgare, die der Baumschulbesitzer *J. L. Adam* in Vitry bei Paris schon im Jahre 1825 hergestellt hatte (*Korschelt*, 1908, S. 519). An den Nachkömmlingen dieses „Pfropfbastardes" ist die Mischung der Charaktere beider Stammpflanzen deutlich und von *de Vries* und *R. Lambert* im einzelnen nachgewiesen worden. Aber die reine Bastardierung dieser Form gilt deshalb als nicht einwandfrei bewiesen, weil man nicht sicher ist, ob nicht die Unterlage (Laburnum vulgare) schon ein sexueller Bastard war. Dieser Zweifel scheint nach Untersuchungen von *Noll* bei einem anderen bekannten Pfropfbastard von Crataegus monogyna und Mespilus germanica *(Bronveaux)* nicht zu bestehen, denn *Noll* fand durch mikroskopische Untersuchung der Strukturen der Mischformen, daß die Unterlage in der Tat eine reine Crataegus monogyna ist, welcher als Reis eine Mespilus germanica aufgesetzt wurde. An der Vereinigungsstelle beider Komponenten wurden Ästchen beobachtet, die zwar untereinander sehr verschieden, aber doch beide Zwischenformen von Crataegus und Mespilus waren; der eine glich mehr der Mispel, der andere mehr dem Weißdorn. Nach der Deutung von *Noll* entstanden sie an der Pfropfstelle im sogenannten Callus durch innige Verschmelzung (Amphimixis) der Zellen beider Komponenten (vgl. *Korschelt*, 1908, S. 516 ff.).

Andere „Pfropfbastarde" wurden von *L. Daniel* an verschiedenen Pflanzen, z. B. Allium, Lycopersicum, Helianthus, Vitis u. a., hergestellt.

aber von der Kritik nicht ohne weiteres anerkannt. Dasselbe gilt von den Pfröpflingen verschiedener Weinstockrassen, denen eine praktische Bedeutung zukommt, da es sich um die Vereinigung einheimischer deutscher Reben mit den widerstandsfähigen amerikanischen Weinstockrassen zum Schutz gegen die Reblaus handelt. Da *Jurie, Daniel, Laurent* und *Curtel* an den Pfropfreisern eine Veränderung der Blätter und Früchte nach der Richtung der Unterlage zu beobachten glaubten, so wurden diese Angaben auf der Rebenveredlungsstation in Geisenheim von *W. Voss* (1904) nachgeprüft, aber es wurde nur gefunden, daß die Merkmale der Pfropfreiser die der betreffenden Rasse innerhalb einer gewissen Variationsbreite eigentümliche waren, also eine tiefer greifende Beeinflussung durch den Grundstock nicht vorlag.

Mittlerweile ist nun die Frage der Pfropfbastarde durch die Experimente von *E. Baur* und *H. Winkler* in ein neues Stadium getreten, indem diese Forscher das Verhalten der Zellen bei Bildung der Pfröpflinge eingehend berücksichtigen.

Nach diesen Untersuchungen kann man mit *H. Winkler* (1910) zunächst folgende drei Arten von „Pfropfbastarden" unterscheiden: Erstens Verschmelzungsbastarde, die durch die Verschmelzung zweier artverschiedener somatischer Zellen entstanden sind. Zweitens Beeinflussungspfropfbastarde, die durch die spezifische Beeinflussung des einen Pfropfkomponenten durch den anderen ohne Zellverschmelzung (durch chemische Stoffe, Plasmaübertritt usw.) entstanden sind. Drittens Chimären, bei denen artreine Zellen von beiden Pfropfkomponenten ohne Verschmelzung zum gemeinsamen Aufbau eines neuen Individuums zusammengetreten sind.

Über das Wesen der merkwürdigen Chimären hat *E. Baur* eine Reihe von Beobachtungen an Pelargonium gemacht, auf die hier kurz aufmerksam zu machen ist. Es gibt bei Pelargonium rein weißblätterige Rassen, die bei vegetativer sowohl wie bei sexueller Fortpflanzung konstant sind. Da sie wegen Fehlens des Chlorophylls selber nicht assimilieren, kann man sie nur dadurch vermehren und erhalten, daß man einen weißen Zweig auf eine grüne Pflanze pfropft. Es gelingt ferner experimentell Pflanzen zu erzielen, die halb grüne, halb weiße Vegetationskegel besitzen. Da hier die verschiedenartigen Zellen im Vegetationspunkt durch Längsflächen getrennt sind, hat man diese Form Sektorialchimäre genannt. Blätter eines solchen Pelargoniumpfröpflings, die in einem weißen Sektor des Vegetationskegels dieser Sektorialchimäre zwischen grün und weiß gebildet werden, sind rein weiß. Blätter in einem grünen Sektor sind rein grün und Blätter, die zufällig gerade auf der Grenze aufsitzen sind, entsprechend geteilt, zur Hälfte grün, zur Hälfte weiß. Eine solche Chimäre erzielte auch *H. Winkler* durch Vereinigung einer Tomate (Solanum lycopersicum) mit einem Nachtschatten (Solanum nigrum); an dieser Pflanze entstand ein sonderbarer Sproß, der links von der Mittellinie reine Tomate mit Tomatenblättern, rechts reinen Nachtschatten mit Nachtschattenblättern darstellte, und in einigen Blättern ging die Trennungslinie beider Charaktere sogar

gerade durch das Blattprimordium hindurch, so daß die Blätter teils aus Tomaten-, teils aus Nachtschattengewebe zusammengesetzt waren.

Außer diesen „Sektorialchimären" gibt es noch andere Chimären, bei denen der Vegetationskegel periklinal weiß und grün gefärbt ist, nämlich so, daß die zwei peripherstен Zellagen weiß, alle übrigen aber grün sind. Solche Bildungen nennt *E. Baur* Periklinalchimären. Bei einer dritten Art von Chimären ist der Vegetationspunkt mosaikartig aus Zellen beider Elternarten zusammengesetzt. Sie bilden die Hyperchimären *(H. Winkler)*.

Die Frage ist nun, in welche dieser Abteilungen die bis jetzt bekannten Pfropfbastarde einzureihen sind. Außer den oben erwähnten Pfropfbastarden kennen wir noch fünf wohlcharakterisierte und wesentlich voneinander verschiedene Bildungen dieser Art, die *H. Winkler* durch Pfropfungen zwischen Tomate und Nachtschatten erzielte. Die Untersuchung der somatischen Zellen dieser Bastarde ergab *H. Winkler* das Resultat: vier von den beschriebenen Solanumpfropfbastarden, nämlich Solanum tubingense, S. proteus, S. Koelreuterianum und S. Gaertnerianum sind Periklinalchimären: Solanum Darwinianum dagegen (zum mindesten in der subepidermalen Schicht des Scheitels) ist ein Verschmelzungspfropfbastard. Da die anderen bisher als echt geltenden „Pfropfbastarde", nämlich Cytisus Adami und Crataego mespilus nach *E. Baur* ebenfalls „Periklinalchimären", aber keine Verschmelzungspfropfbastarde sind, so haben wir nach *H. Winklers* Auffassung in Solanum Darwinianum den ersten wirklichen Pfropfbastard, der durch Verschmelzung somatischer Zellen entstanden ist. *H. Winkler* begründet seine Ansicht durch den Befund der Chromosomenzahlen in den Zellen. Seine Auffassung wird von *Strasburger* sehr skeptisch aufgenommen. *E. Baur* sieht in Solanum Darwinianum eine von der Periklinalchimäre abweichende Form, die noch der Deutung bedarf. *A. Meyer* und *E. Schmidt* dagegen haben ihre Meinung dahin geäußert, daß *Winkler* mit seiner Deutung der Verhältnisse im wesentlichen recht habe.

### e) Kompensatorische Hypertrophie und vikariierende Tätigkeit der Organe; Metamorphosen: Korrelation.

Wird ein Organ am Pflanzenkörper entfernt oder seine Funktion ausgeschaltet, so kann ein anderes Organ durch „kompensatorische Hypertrophie" so ausgestattet werden, daß es die in Verlust geratene Funktion übernimmt. Diese Vorgänge sind schon lange auf pathologisch-anatomischem und zoophysiologischem Gebiet bekannt gewesen und von *Vöchting, Knight, Goebel* und *Hering* auch bei Pflanzen nachgewiesen worden. Eine Zusammenstellung dieser Tatsachen lieferten *C. Herbst* und *Goebel*. Den Kern der Untersuchungen *Vöchtings* (1894) bildet die Feststellung einer bestimmten Klasse von vikariierenden Funktionen oder richtiger vikariierenden Organen am Pflanzenkörper. Es gelang ihm die Knolle der Kartoffel in den Grundstock der Pflanze einzuschalten und ihr damit

abnormale Funktionen zu übertragen. Er vermochte ferner, bei Helianthus tuberosus dadurch, daß er die Bildung der typischen Stengelknollen hemmte, ungewöhnliche Anschwellungen der Wurzeln hervorzurufen, die die Funktion der Knollen teilweise übernahmen. In beiden Fällen führten die abnormalen Aufgaben für den Haushalt der Pflanze in den Organen beträchtliche Veränderungen der inneren Struktur herbei. Die Kartoffel bildete reichlich die verschiedenen Formen des leitenden Gewebssystems, daneben aber ein ihr sonst fremdes Element, mechanische Zellen. In der Wurzelknolle des Helianthus wurden ebenfalls der normalen Wurzel nicht eigene Elemente, die Speicherzellen, erzeugt. Auch der Laubsproß konnte veranlaßt werden, dieselben Elemente hervorzubringen.

Ein interessantes Beispiel kompensatorischer Leistung lieferte in einer anderen Versuchsreihe *Vöchtings* ein Knollenstück (Kohlrabi), bei welchem die Wurzeln, die aus dem normalen Holzkörper hervorgingen, verhindert wurden, den Boden zu erreichen, während die am Mark gebildeten Wurzeln rasch in den Boden eindrangen. Die Objekte gediehen gut, erzeugten Blüten und Früchte, obgleich das Wasser und die darin gelösten Bestandteile von Wurzeln aufgenommen werden, die an ganz anormalen Orten stehen, an den Strängen des Markes, um ddurch diese dem allgemeinen Holzkörper zugeleitet werden. Die Markbündel treten hier also in besonderer Weise vikariierend für den Holzkörper ein.

Kompensatorische Hypertrophie eines Kotyledo (Samenlappens) beobachtete *Pischinger* nach Wegschneiden des anderen Kotyledo bei Streptocarpus und Monophyllaea. Eine echte Regeneration fand also nicht statt, ebensowenig wie in den Versuchen von *K. Goebel* an Streptocarpus Wendlandi.

Bei Regenerationsstudien an Kohlrabiknollen ermittelte *Vöchting* (1908) eine vikariierende Regenerationsleistung des Markes, welches sich dabei als ein wahrhaft proteïsches Gebilde erwies. Unter gewöhnlichen Verhältnissen erzeugt es ein Netz konzentrischer Bündel. Unter künstlich hergestellten Wundflächen aber vermag es Cambium und durch dieses kollaterale Stränge zu bilden, deren Teile normal gelagert sind, der Siebteil nach außen, der Gefäßteil nach innen. Es ist ferner imstande, eine primäre Rinde mit allen Bestandteilen, mit grünem Parenchym, Sklerenchym, mit Collenchym und Hartbastzellen hervorzubringen, und die regenerierte Rinde vermag unter dem anfänglich entstandenen Korke eine neue Epidermis zu erzeugen. Dazu kommt Bildung des Phellogens mit dem Phelloderm am Umfange der Wundfläche und im Marke des Sprosses über der Knolle. Aus allen diesen Tatsachen folgt, daß das Mark direkt oder indirekt alle Gewebe des vegetativen Körpers beim Kohlrabi erzeugen kann. Diese Fähigkeit des Körpers tritt jedoch nur dann zutage, wenn es auf natürlichem Wege durch Platzen der Knolle oder künstlich durch die Hand des Experimentators an die Oberfläche verlegt wird. Nun wird sie gezwungen, potentiell in ihr schlummernde, unter normalen Verhältnissen nie ans Licht tretende Eigenschaften zu offenbaren. Ihre Leistung ist also eine Funktion des Ortes.

Damit wird eine früher von *H. Vöchting* ermittelte Tatsache bestätigt, daß nämlich dieselbe Gruppe von Cambialzellen, je nachdem man sie das basale oder das Scheitelende eines Organes einnehmen läßt, zur Grundlage einer Wurzel oder eines Sprosses wird. Dieser Satz läßt sich jetzt auf die Gewebe ausdehnen: an dem Mark des Kohlrabi kann man beweisen, daß aus einem schon differenzierten, aber noch wachstumsfähigen Gewebe jede Zellenform hervorgehen kann, je nach dem Orte, den der Experimentator ihr anweist.

Den hier besprochenen Erscheinungen verwandt sind auch die Metamorphosen, bei welchen gewisse Anlagen eine andere Entwicklung als gewöhnlich durchmachen. Solche Metamorphosen treten nach *E. Küster* ein, wenn die Entwicklungsbedingungen von der Natur oder dem Experimentator geändert werden. Umwandlungen von Blütentrieben in Laubsprosse und umgekehrt von Ausläufern in Rosetten (bei Ajuga reptans) etc. lassen sich nach *G. Klebs* leicht erzielen und die Erscheinungen sind zum Teil ganz unabhängig von der „Polarität", was sich z. B. daraus ergab, daß Weidenzweige durch lokale Wasserzufuhr an beliebigen Stellen zur Wurzelbildung angeregt werden konnten. Sogar fertige, vollkommen differenzierte Organe können sich unter gewissen Umständen noch nachträglich umdifferenzieren, wie *Winkler* fand. Er beobachtete die nachträgliche Umwandlung von Blütenblättern und Narben in Laubblätter an einem Köpfchen eines Stockes von Chrysanthemum frutescens L., „Etoile d'or".

Während bei diesen Vorgängen die experimentelle Änderung äußerer Bedingungen das treibende Agens ist, können durch Modifikation der inneren Wachstumsbedingungen Erscheinungen der Korrelation, d. h. der inneren Wechselbeziehungen hervorgerufen werden. Als Beispiel dafür dienen Experimente von *Vöchting*, die ebenfalls am Kohlrabi angestellt wurden (1908).

Die Unterdrückung der Geschlechtstätigkeit hat in allen Fällen eine bedeutende Störung des vegetativen Wachstums zur Folge. Stamm, Blätter und Wurzel nehmen stets an Umfang zu. Diese Vergrößerung der Organe beruht entweder nur auf Volumzunahme (einfache Hypertrophie) oder auf Wachstum ihrer Elemente, das mit Teilung verbunden ist (Hyperplasie oder Heteroplasie). In hypertrophischen Pflanzen solcher Art kann man durch eine Last, mag sie als Zug oder Druck wirken, nicht erreichen, daß sie die von ihnen gänzlich eingestellte oder bedeutend verminderte Bildung von Holzzellen wieder einleiten, jedenfalls nicht in deutlich sichtbarer Weise. Wohl aber gelang es, an horizontal gestellten hypertrophischen Achsen durch starke Belastung eine schwache Zunahme der mechanischen Gewebe auf der Ober- und Unterseite des Stammes hervorzurufen.

Das aber, was durch künstliche Belastung in den hypertrophierten Achsen nicht oder nur in bedingter Weise zu erreichen ist, die Rückkehr zu normalen Verhältnissen, vor allem die Wiedererzeugung fester Holzzellen, wird leicht erzielt, wenn man dem Scheitel der Organe durch Pfropfen ein Reis einfügt. Sobald sich dieses mit der Unterlage verbunden und

seine Entwicklung begonnen hat, kehren die normalen Verhältnisse wieder: es entstehen wieder Gefäße und feste Holzzellen von gewöhnlicher Form. Nicht die Last als solche also bewirkt die mechanischen Elemente, sondern es sind innere Wechselbeziehungen, sogenannte Korrelationen, die hier ursächlich eingreifen.

### II. Kompensatorische Regulation, Polarität, formbildende Stoffe.

Außer einer kompensatorischen Hypertrophie, die in einer stärkeren Ausbildung der beanspruchten Organe besteht, kommt bei Pflanzen eine kompensatorische Regulation vor, die einen Organverlust lediglich durch eine andere Stellung oder Richtung vorhandener Organe wettmacht. Ein jedem Pflanzenfreund bekanntes Beispiel liefert das Verhalten unserer gewöhnlichen Gartenconiferen nach Verlust der Spitze: der Ersatz erfolgt dadurch, daß ein Seitenast oder auch mehrere solcher Äste sich aufrichten und eine neue Spitze zu bilden suchen. Man kann dieses Bestreben dadurch zum Erfolge bringen, daß man einen dieser Aspiranten durch Abschneiden der anderen begünstigt. Bei Circaea konnte *K. Goebel* ein ähnliches Ergebnis herbeiführen, wenn der Gipfel nicht abgeschnitten, sondern verfinstert, also seiner normalen Funktion entzogen wurde.

Eine Regulation dieser Art durch einfache „Umordnung" fand *Ch. Zeleny* bei gefingerten Blättern nach Entfernung eines Blattfingers im frühen Stadium, z. B. bei der Lupine und dem Klee. Wurde an einem Kleeblatt eines der symmetrischen Blättchen entfernt, so veränderten die übrigbleibenden ihre Stellung so, daß sie sich den symmetrischen Einheiten des ursprünglichen Kleeblatts näherten.

Aus Beobachtungen dieser Art könnte man schließen, daß ein gewisses „Gerichtetsein" der kleinsten Pflanzenteile, also Polarität vorhanden sei, die nach Störungen einen Ausgleich sucht. Eine solche Polarität hatte schon *Vöchting* nach seinen Transplantationsversuchen für die höheren Pflanzen in Anspruch genommen. Man kann sich vorstellen, daß sie ursprünglich durch äußere Faktoren induziert, dann aber inhärent und erblich wurde und deshalb durch äußere Einwirkungen nicht ohne weiteres umkehrbar ist.

Freilich sind *Vöchtings* Anschauungen über Polarität nicht ohne Widerspruch geblieben. *G. Klebs* bestätigte die von *H. Vöchting* festgestellte polare Differenzierung für Sempervivum Funkii, bestritt sie aber für Weidenzweige, an deren apikalem Ende man durch Steigerung der Feuchtigkeit oder der Temperatur (*Klebs*, 1903) oder der Sauerstoffzufuhr (*Küster*, 1904) Wurzeln hervorrufen könne. *H. Vöchting* wies dagegen durch neue Versuche (1906) nach, daß in Wirklichkeit bei diesen und ähnlichen Experimenten die Polarität unverändert bleibt. Es gelingt zwar öfter, das Scheitelende der Weidenzweige sich bewurzeln zu lassen — was der Polarität nicht widerspricht —, niemals aber die Polarität umzukehren, da die Zweige hierbei stets zugrunde gingen. Auch aus Versuchen anderer Forscher (*Kny, Strasburger, Berthold*) ergab sich entweder kein Beweis

für die Umkehr der Polarität, oder aber der Beweis, daß die Polarität unverändert blieb. Eine ausgesprochene Polarität fand auch *J. M. Janse* bei Caulerpa prolifera: Abgelöste „Blätter" bringen am basalen Ende — und nur hier! — adventive „Rhizome" und „Rhizoide" (Wurzeln) hervor.

*Vöchting* hat seine Ansicht über Polarität auch durch seine neuen Versuche am Mark des Kohlrabi bestätigt gefunden (1908). Da in den Pflanzenorganen Polarität der Elemente und Längenachsen des Ganzen dieselbe Richtung haben, so daß im allgemeinen der Sproßpol nach oben, der Wurzelpol nach unten gerichtet ist, so prüfte er dieses Verhalten an Kohlrabiknollen in der Weise, daß durch geeignete Schnitte apikale und basale Schnittflächen hergestellt und ihre Produkte beobachtet wurden. Das Ergebnis war, daß an jeder basalen Schnittfläche, mochte sie senkrecht oder geneigt zur Längsachse des Organs verlaufen, leicht und meist reichlich Wurzeln entstanden, und zwar am normalen Holzkörper und auch an den Bündeln der Markfläche. Sie gingen ferner aus vertikal gerichteten Schnittflächen hervor, und zwar überwiegend aus deren unterer und mittlerer Region. Dagegen bildeten sich an apikalen Schnittflächen, die horizontale Richtung hatten, keine Wurzeln. Aus apikalen geneigten Flächen gehen entweder ebenfalls keine hervor oder sie entstehen besonders an großen, stark geneigten Flächen, in geringer Zahl in ihrem unteren Teile. Dem oberen Teile dieser geneigten und vor allem der horizontalen apikalen Fläche entspringen dagegen nicht selten Adventivknospen, die sich im ersten Jahre fast immer zu Knollen gestalten.

Indessen gilt diese Polarität im allgemeinen für die höher organisierten Pflanzen, nicht aber, wie schon oben bemerkt wurde, durchweg auch für die niederen Gewächse, unter denen nach den vorliegenden Versuchen Bryopsis und wahrscheinlich mehrere Algen eine Ausnahme machen. *Noll, Berthold* und *Winkler* gelang es, aus der Stammspitze isolierter Pflänzchen von Bryopsis eine Wurzel zu erzielen. Hier wurde also die Polarität einfach umgekehrt, oder vielmehr: es ergab sich, daß Bryopsis eine inhärente Polarität nicht besitzt.

Die Anordnung der neugebildeten oder zur Weiterentwicklung vorhandenen Teile hängt aber nach *Goebel* nicht nur von der „Struktur" (im weitesten Sinne) des betreffenden Pflanzenteils ab, sondern namentlich von den Bahnen, in welchen sich die Bildungsstoffe in demselben bewegen und von dem Wundreiz. Da die Einwirkung des Wundreizes allseitig zugegeben wird, so kann eine Erörterung hier unterbleiben. Dagegen bedarf die Hypothese über den formbildenden Einfluß des Nährstroms noch einer kurzen Besprechung. Nach einer zuerst von *Sachs* geäußerten Hypothese spielen gewisse „organbildende Stoffe" bei den formativen Vorgängen der Stengel- und Wurzelbildung im Pflanzenkörper eine Rolle. *Goebel* hat diese Annahme dahin erweitert, daß diese Stoffe nicht nur bei der Entstehung eines Organes, sondern auch bei seiner Funktion in Betracht kommen und, bei derselben verbraucht, vom embryonalen Gewebe aus ständig ergänzt werden müssen. Wenn ein Organ außer Funktion

tritt, findet diese Ergänzung auch nicht mehr statt, es tritt dann Verkümmerung ein. Diese Annahme würde nach *Goebel* manche Erscheinungen auch bei der tierischen Regeneration unter einen Gesichtspunkt zusammenfassen lassen.

Diese Hypothese ist neuerdings von *T. H. Morgan* bekämpft worden. *T. H. Morgan* bezweifelt nicht, daß die Gegenwart gewisser Stoffe in einem Teil seine Reaktion bestimmen mag und daß ein Strom gewisser Substanzen nach bestimmten Richtungen in der Pflanze vorhanden ist, aber er vermutet, daß die Ursache eines solchen Stromes nach bestimmter Richtung abhängig ist von der Gegenwart gewisser Organe, in welchen diese Substanzen gebraucht oder in welchen sie in andere Substanzen umgewandelt werden.

Daß die Stoffe an sich für Wachstum und Regeneration nicht maßgebend sind, schließt *Morgan* aus seinen Beobachtungen über das rote Pigment bei Tubularia, in welchem *Löb* und *Driesch* einen formbildenden Stoff vermuteten, während *Morgan* und *Stevens* nachwiesen, daß dieses Pigment durch Degenerationsvorgänge entsteht und ausgeworfen wird. Auch bei Pflanzen hat *Morgan* Beobachtungen über dieses Problem gemacht. Er sah an abgeschnittenen Stengelteilen, daß lediglich die kräftigsten Knospen zur Entwicklung kamen, mochten sie distal oder proximal stehen. Wenn also bei Lilien keine Samen, sondern Zwiebeln an der Basis entstehen, so darf man dies nicht mit *Goebel* dem abwärts gerichteten Nährstrom zuschreiben, sondern man muß nach *Morgans* Meinung annehmen, daß die kräftigen Anlagen der Zwiebeln an der Basis die Nährstoffe verbrauchen und dadurch die Ausbildung der Samen verhindern. Bei *Goebel* ist also der Säftestrom und ein durch irgend einen Umstand lokal wirkender Reiz desselben die primäre Ursache von Sproßbildungen, bei *T. H. Morgan* ist die vitale Kraft der Sprossen die primäre Ursache der Entwicklung und zieht erst sekundär den Säftestrom an sich.

Die Tatsache aber, daß manche Adventivsprossen erst infolge des Wundreizes an beliebigen Stellen entstehen, läßt sich wohl leichter durch die *Sachs-Goebel*sche Hypothese erklären. Auch sprechen neuere Beobachtungen über die Entwicklung tierischer Eier dafür, daß gewisse Stoffe eine bestimmte Beziehung zur Organbildung haben, z. B. die plasmatische Randzone im oberen seitlichen Abschnitt des ungefurchten Ctenophoreneies *(A. Fischel)* und bestimmte Materialien in ungefurchten Eiern von Ascidien und Schnecken *(G. Conelin)*.

## II. Regeneration und Verwandtes bei Tieren.

Die merkwürdigen Erscheinungen der tierischen Regeneration beherrschten vor 150 Jahren das Interesse der Biologen so sehr, daß die berühmtesten Forscher, z. B. *Réaumur*, *Spallanzani*, *Bonnet*, *Trembley* u. a., sich mit Experimenten über die Wiedererzeugung zerschnittener Würmer und Polypen, abgeschnittener Krebsscheren und Schneckenfühler, abgebrochener Eidechsenschwänze etc. beschäftigten. Auch im 19. Jahrhundert

wurden Versuche dieser Art von angesehenen Gelehrten, z. B. *Dugès, Gachet, Leydig, Gegenbaur, H. Müller, Götte, Carrière, Schiefferdecker, Nußbaum* u. a. mit schärferer Beobachtung der feineren Vorgänge angestellt. Als Objekte wurden fast ausschließlich erwachsene Tiere von einfacher oder höherer Organisation verwandt; von nicht erwachsenen Tieren wurden nur gelegentlich, namentlich von *Spallanzani*, Amphibienlarven benutzt.

Seit einigen Dezennien aber ist die Regenerationsforschung in eine neue Phase eingetreten, die wesentlich embryonale Formen tierischen Lebens und solche Tiere untersucht, die früher nicht berücksichtigt wurden. Sie fällt zusammen mit der Begründung der Entwicklungsmechanik durch *W. Roux* und hat eine erstaunliche Fülle neuer Tatsachen und tieferer Einblicke in das Wesen der Regeneration und Entwicklung ans Licht gebracht.

Wenn ich nun versuche, dem Leser einen Einblick in den jetzigen Stand unserer Erkenntnis auf diesem Gebiet zu liefern, so muß ich auf eine Mitteilung auch nur der wichtigsten Tatsachen des ungeheuren Materials verzichten und kann nur die Grundfragen der Regenerationslehre in kurzen Abschnitten erörtern und durch Beispiele erläutern.

### a) W. Roux' Hemiembryonen und Postgeneration.

Durch seine Versuche am befruchteten sich entwickelnden Froschei legte *W. Roux* den Grund zu einem neuen Kapitel der Regenerationslehre, der Regeneration des Embryo. Denn er entnahm (von 1882 an) als erster durch Anstich mit einer Nadel dem Froschei Materialteilchen und beobachtete, welchen Einfluß dieser Defekt auf die Bildung des Embryo hatte. So gelangte er zur Anstellung seines berühmten Fundamentalversuches, in welchem er mit einer heißen Nadel eine Zelle des zweigeteilten Froscheies zerstörte und dadurch von der Entwicklung ausschloß. Das interessante Ergebnis war die Entstehung eines halben Froschkeimes in allen Entwicklungsstadien von der Hemimorula bis zum Hemiembryo, und weitere Versuche lehrten, daß auch jede der vier ersten Furchungszellen des Froscheies sich zu einem Viertelembryo entwickeln konnte.

*Roux* beobachtete nun weiter, daß die ihrer Entwicklungsfähigkeit beraubte Zelle des Zweizellenstadiums allmählich wieder belebt und endlich sogar befähigt werden kann, durch nachträgliche Entwicklung die fehlenden Körperteile in ganz oder fast normaler Vollkommenheit herzustellen. Letzteren Vorgang nennt *Roux* Postgeneration, um ihn von der Regeneration in Verlust geratener Körperteile zu unterscheiden. „Postgeneration" und „Regeneration" sind insofern verwandt, als beide auf indirektem Wege Mängel der direkten Entwicklung und künstlich hergestellte Defekte ausgleichen; sie sind aber insofern verschieden, als die Regeneration einen wirklich vorhanden gewesenen Körperteil wiederherstellt, während die Postgeneration einen nur potentiell dagewesenen Körperbezirk, d. h. die virtuelle Körperhälfte in einer der ersten Furchungszellen von Rana, nachträglich bildet.

Diese Versuche und die Schlüsse, die *Roux* aus ihnen zog, erregten berechtigtes Aufsehen unter den Biologen. Die Experimente wurden vielfach wiederholt, auch an den jungen Keimen andrer Tiere angestellt und ergaben nun vielfach andere Resultate, als man erwartet hatte. Bei Versuchen am Seegelei fanden *K. Fiedler* und *H. Driesch* (1892), daß isolierte Furchungszellen des Zweizellenstadiums zwar zunächst Halbbildungen lieferten, daß aber später nach *Drieschs* Beobachtungen aus diesen normale ganze (keine halben) Embryonen und Larven von halber Größe hervorgingen, und beim Amphioxusei sah *E. B. Wilson* aus isolierten Blastomeren des Zwei- und Vierzellenstadiums keinerlei Halbbildung, sondern sogleich normale ganze Embryonen von entsprechend geringerer Größe entstehen. Und *O. Hertwig* bestritt auf Grund seiner Versuche am Froschei sowohl das Auftreten von Hemiembryonen, als auch der Postgeneration.

Diese Streitfrage kann hier nicht weiter erörtert werden, wohl aber soll der jetzige Standpunkt unserer Einsicht in diese schwierigen Probleme kurz zur Darstellung kommen.

Was zunächst die Postgeneration betrifft, so wurde sie von *O. Hertwig* ganz abgelehnt; von *T. H. Morgan* beim Froschei und von *Mc. Clendon* beim Ei von Chorophilus triseriatus nicht beobachtet. *K. Ziegler* sah nur „Regeneration" durch Proliferation von Zellen. *O. Schultze* sah bei seinen Versuchen über künstliche Doppelbildungen bei Froschkeimen mit Hilfe der Schwerkraft keine Postgeneration, erkannte aber ihr Vorhandensein in den von *Roux* beschriebenen Fällen an. *Endres* stimmte *Roux* vollständig bei. *Chun* erschloß Postgeneration aus seinen Beobachtungen am Ctenophorenei. *Weismann* sprach sich auf Grund theoretischer Erwägungen für *Roux* aus und *Barfurth* beobachtete postgenerative Vorgänge bei der Regeneration der Keimblätter von Amphibien. *Roux* selber verteidigte neuerdings gegen *T. H. Morgan* und *Moszkowski* die Postgeneration. Die Postgeneration einer Embryonalhälfte ohne Verwendung von Material der dazu veranlagten Eihälfte hat *W. Roux* an beweisenden Präparaten auf den Anatomenversammlungen zu Wien (1892) und Halle (1902) demonstriert. In seinem letzten Referat über Entwicklungsphysiologie (1908) erklärt nun *H. Driesch* das Vorkommen der Postgeneration beim Froschkeim zwar für zweifelhaft, läßt aber ihr Auftreten bei einem andern Objekt gelten, nämlich bei dem von *Lewis* und *Spemann* gefundenen Faktum, daß Amphibienembryonen ihre Linse adventiv von der Iris ausbilden können, wenn ihnen die Gelegenheit, mit dem Augenbecher die Haut zu berühren, verlegt ward. Unumwunden aber tritt *Ernst Laqueur* auf Grund seiner am Froschkeim angestellten Untersuchungen der *Roux*schen Auffassung bei, indem er das Vorkommen von Postgeneration rückhaltlos bejaht, wenn darunter nach *Roux* „verspätete Entwicklung" von abnormerweise zunächst unentwickelt gebliebenen Eiteilen verstanden wird, die außerdem auch nach seinen Beobachtungen in mancher Beziehung nicht in typischer und regenerativer Weise verlief (1909).

Während also die Ansichten über die Postgeneration noch weit auseinandergehen, sind die Forscher wohl ohne Ausnahme darin einig, daß echte Halbbildungen tatsächlich vorkommen. Nach *H. Driesch* liefern isolierte Blastomeren der ersten Entwicklungsstadien Halb- und Viertelembryonen, wenn eine Regulierbarkeit der Eiplasmaorganisation zum Ganzen fehlt, wie z. B. beim Ei der Ctenophoren *(Chun, H. E. Ziegler, A. Fischel)*, der Schnecken *(Crampton, E. G. Conklin)*, der Würmer *(zur Strassen)* u. a. Da bei diesen Eiern jede Furchungskugel im normalen Entwicklungsgang einen bestimmten Teil des Ganzen bildet, also nach *W. Roux* „Mosaikarbeit" leistet, kann man sie mit *Heider* „Mosaikeier" nennen. Bei anderen Eiern kann die Organisation des Eiplasmas nach Störungen vor Beginn der eigentlichen Differenzierungsentwicklung zum Ganzen reguliert werden, wie die Entstehung kleiner Ganzembryonen aus isolierten Blastomeren mancher Eier, z. B. der Echiniden und Medusen, beweist. Solche Eier sind deshalb als „Regulationseier" bezeichnet worden. Wir wissen jetzt, daß diese beiden Extreme durch Übergänge zu einer Reihe miteinander verbunden sind und daß die Gradunterschiede der Eiorganisation auf Zeitunterschiede des wahren Differenzierungsbeginnes beruhen, wie *H. Driesch* sagt. Auf diese Tatsache wirft folgende Beobachtung von *A. Brachet* ein helles Licht: Im Froschei vollzieht sich etwa eine Stunde nach dem Eindringen des Spermiums die spezifische Verteilung der Materialien, und $1^1/_2$ Stunden nach der Befruchtung ist das „Regulationsei" zu einem „Mosaikei" geworden, dessen Verhalten bei experimentellen Eingriffen *Roux'* Schlüsse glänzend rechtfertigt (*A. Brachet*, 1906).

### b) Typische und atypische oder regenerative Entwicklung (W. Roux): Regeneration der Embryonalstadien.

Die Tatsache, daß eine überlebende Furchungskugel in dem einen Falle nur einen Teil des ganzen Embryo, im anderen Falle aber einen ganzen, nur entsprechend kleineren Embryo bildet, fordert einen Erklärungsversuch heraus. Wir sind aber dabei auf Hypothesen angewiesen.

Nach *H. Driesch* und *O. Hertwig* wird durch die Furchung das Ei lediglich in eine Anzahl wesentlich gleichartiger Zellen geteilt, die sich nach einer experimentellen Isolierung wie das ganze Ei verhalten und die typische Entwicklung zu einem kleinen Ganzembryo an dem kleineren Material vollziehen. Diese Hypothese hat es leicht, die kleinen Ganzbildungen mancher Eier zu erklären, hat es aber schwer, die Entstehung der Teilbildungen klar zu machen, da diese doch beweisen, daß hier die Zellen auf die Entwicklung zu Teilen des Ganzen spezifiziert sind. *O. Hertwig* nimmt zur Erklärung dieser Schwierigkeit an, daß bei der normalen Entwicklung die Eiteile durch „regulierende Wechselbeziehungen" in den Dienst des Ganzen eingefügt und spezifiziert werden.

Nach der Auffassung von *W. Roux* aber ist das Ei sowohl einer gewöhnlichen, typischen Entwicklung fähig, als auch einer atypischen.

regenerativen, die nach Störungen und Herstellung von Defekten eintritt. Jede dieser Leistungen ist wahrscheinlich an ein besonderes Kernmaterial gebunden. Das Material der typischen Entwicklung ist in den Furchungszellen spezifisch verschieden und bewirkt die Differenzierung der Körperteile und Organe; das Kernmaterial aber, welches die atypische regenerative Entwicklung beherrscht, das Reservekernmaterial, ist in den vier ersten Furchungszellen gleich vermögend und totipotent. Es wird durch Verletzungen des Eies in Tätigkeit gesetzt, entweder sogleich — dann bildet es sofort einen kleinen Ganzembryo, oder etwas später — dann entsteht zunächst eine Halbbildung, die unter günstigen Umständen zu einer Ganzbildung postgeneriert. Wie man sich diese Verteilung der Materialien im Kern und das Verhalten des Protoplasma dabei zu denken hat, ist von *zur Strassen* am Ascarisei, von *G. Tornier* am Froschei genauer dargelegt worden.

Mir scheint, daß wir nach *Roux'* Anschauungen und seiner Unterscheidung zwischen typischer und atypischer, regulatorischer Entwicklung das verschiedene Verhalten des Eies bei ungestörter und gestörter Ausbildung am einfachsten erklären können. Ich nehme deshalb an, daß Regeneration schon im Ei beginnen kann, also so alt und ursprünglich ist wie die Entwicklung.

Diese Annahme beruht zunächst auf der Tatsache, daß Regeneration und Entwicklung einem gemeinsamen Urquell, der Produktionsfähigkeit der Organismen, entspringen. „Die Grundvorgänge bei der Postgeneration, der Regeneration und der normalen Entwicklung (Wachstum) sind dieselben", sagt *W. Roux*. Und neuerdings hat *A. Rauber* den schon öfter geäußerten Gedanken, daß die ganze Entwicklung sich als Regeneration betrachten läßt, in geistreicher Weise an dem vorliegenden Beobachtungsmaterial durchgeführt.

Ferner spricht dafür die von *W. Roux* geltend gemachte Erwägung, daß auch die einfachsten Organismen und ihre Keime (Eier) ohne die Fähigkeit der Selbstregulation nicht hätten entstehen und bestehen können, da Verlagerungen der Teile, Verletzungen unvermeidlich waren und solche Störungen durch selbsttätige Mechanismen repariert werden mußten, sollte anders eine Dauerfähigkeit möglich sein.

Zuletzt ist dafür die allgemein anerkannte Tatsache geltend zu machen, daß die Regeneration in jugendlichen Stadien viel ausgiebiger ist als im zunehmenden Alter. Konsequenterweise muß man also schließen, daß sie auch in den frühesten Embryonalstufen nicht nur vorhanden, sondern stärker ist als in älteren Stadien und diese Erwägung gibt auch dem Auftreten der „Postgeneration" seine innere Wahrscheinlichkeit.

Von dieser Grundlage aus schildere ich nun kurz die regenerativen Leistungen der Embryonalstadien.

Den schon erwähnten Experimenten über die regulatorische Entwicklung von isolierten Blastomeren sind noch andere Versuche anzureihen, die auf die Entstehung gewisser Mißbildungen (Zwillings- und Doppelbil-

dungen) Licht geworfen haben. Die Einzelheiten findet man in den Werken von *Marchand, E. Schwalbe* u. a. über Mißbildungen, von *H. Hübner* über Doppelbildungen (1911) u. a.

Eine überlebende Furchungszelle des zweizelligen Froschkeimes kann je nach der Versuchsanordnung einen halben Embryo *(W. Roux)*, oder auch einen kleinen Ganzembryo *(T. H. Morgan)* bilden. Wird der natürliche Verband der Zellen in manchen Eiern durch Schütteln gelockert (*H. Driesch* beim Seeigelei), so können Zwillinge entstehen. Das gleiche Resultat erzielte *J. Loeb*, als er befruchtete ungefurchte Seeigeleier in verdünntes Seewasser brachte, so daß nach Sprengung der Eimembran das Protoplasma ausfließt und ein „Extraovat" *(W. Roux)* bildet; wird dann eine solche Doppelkugel in normales Seewasser zurückgebracht, so bildet jede Kugel einen entsprechend kleineren Ganzembryo. Als *O. Schultze* befruchtete Froscheier zwischen zwei Glasplatten komprimierte und die Eier nach der ersten Furchung um 180° drehte, erhielt er durch Einwirkung der Schwerkraft Doppelbildungen. Einschnürungen von Tritoneiern im Zweizellenstadium längs der ersten Furche können Selbständigwerden der Blastomeren und Zwillingsbildung hervorrufen (*H. Endres* und *H. Spemann*): werden spätere Stadien eingeschnürt, so entstehen Doppelbildungen verschiedener Art und zyklopischer Defekt *(H. Spemann)*. Durch Kompression vierzelliger Axolotlkeime erzielte *G. Tornier* Doppelbildungen und Mißbildungen.

Die Regenerationsfähigkeit in Entwicklung begriffener Eier zeigt sich aber auch in späteren Stadien, z. B. in der Gastrula und nach Ausbildung der Keimblätter. An der Gastrula des Frosches heilen selbst große Schnittwunden leicht durch Zusammenlegen der Ränder *(W. Roux)*. An der Gastrula und Neurula des Axolotl stellte *Barfurth* durch Versuche die Regenerationsfähigkeit der verletzten Keimblätter fest: nach Herstellung von Defekten der Leibeswand vereinigte sich Ektoderm mit Ektoderm, Entoderm mit Entoderm. Es findet also keine Vertretung des einen Keimblattes durch das andere statt *(W. Roux, D. Barfurth, H. Driesch, E. Schultz)* oder wie *Waldeyer* schon früher (1883) vermutet hatte: Schon mit der Bildung der Keimblätter sind die Materialien funktionell geschieden. Andrerseits ergaben Versuche von *H. Driesch* und *H. Spemann*, daß die Zellen eines Keimblattes einander vertreten können. Die „prospektive Potenz" *(H. Driesch)* der Ektodermzellen und der Entodermzellen unter sich ist also gleich oder Ektoderm und Entoderm sind nach der Bezeichnung von *H. Driesch* „harmonisch-äquipotentielle Systeme".

Noch ältere Entwicklungsformen, z. B. Larven, vermögen Organe zu regenerieren, die von ausgewachsenen Tieren nicht mehr ersetzt werden. *Barfurth* stellte fest, daß junge Froschlarven die abgeschnittene Anlage der hinteren Extremität vollständig zu regenerieren vermögen, ältere Larven und ausgebildete Frösche aber nicht. Ganz junge Axolotllarven können die Chorda dorsalis als solche regenerieren, ältere Larven nicht mehr *(Barfurth)*. Bei Fischembryonen (Forellen) erhielt *Kopsch* nach

lokalisierten Verletzungen des Keimringes oder Randringes Halbbildungen des hinteren Körperendes mit nachfolgender Postgeneration des fehlenden medialen Mesoderms. Bei jungen Knochenfischen ist die Schwanzflosse regenerationsfähig; auch können nach den Experimenten von *Nussbaum* und *Sidoriak* bei Forellenembryonen neue Mündungen am Enddarme und an der Urethra regeneriert werden. Sogar in der Klasse der Vögel, bei denen die Regenerationsfähigkeit bis auf die Reparation des Schnabels und den physiologischen Ersatz der Federn ganz geschwunden ist, haben die Embryonen noch regenerative Potenzen. Verletzungen des Auges und der Linsenanlage vor Bildung des Amnion riefen Regenerationserscheinungen am Auge und regenerative Neubildung einer unvollkommenen Linse *(Lentoid)* aus dem Ektoderm hervor *(Barfurth* und *Dragendorff)*; auch die Chorda dorsalis am Schwanzende ist regenerationsfähig *(Fr. R. Lillie)*.

Aus diesen Tatsachen folgt, daß während der Entwicklung und in früher Jugend das Individuum leichter und ausgiebiger regeneriert als im erwachsenen Zustande. Als physiologische Parallele dazu kennen wir die Erscheinung, daß trotz vieler Ausnahmen tiefer stehende Tiere besser regenerieren als höher stehende. Protozoen, wirbellose Tiere und Amphibien regenerieren meist ausgezeichnet, die höheren Klassen der Reptilien, Vögel und Säuger sehr wenig.

### c) Die drei Arten der tierischen Regeneration.

Die Regeneration nach Verletzung ausgebildeter Lebewesen, die uns nunmehr zu beschäftigen hat, vollzieht sich nicht in allen Tierklassen und bei allen Formen in derselben Weise, sondern in drei Arten, die durch Übergänge miteinander verbunden sind. Diese drei Modi sind nach *W. Roux* folgende:

1. Regeneration durch Sprossung im Anschluß an das bei der Verletzung erhalten gebliebene Stück, z. B. Wiedererzeugung eines abgebissenen Tritonbeines, abgeschnittener Schwanzenden bei Froschlarven, verloren gegangener Krebsscheren usw.

2. Regeneration durch „Umordnung und Umdifferenzierung" von Zellen *(W. Roux)*, wie sie *M. Nussbaum* bei Hydra beobachtete und beschrieb. Sie geschieht ohne Neubildung von Zellen, lediglich durch Umordnung und zweckmäßige Verwendung des vorhandenen Materials, also unter Änderung der Gestalt, und wurde deshalb von *T. H. Morgan* auch als „Gestaltsänderung", Morphallaxis, bezeichnet. Sie kommt z. B. vor bei zerschnittenen Plattwürmern (Planaria).

3. Durch Einschmelzung und anscheinend vollständige Rückbildung und Entdifferenzierung der Körperform unter Neubildung des Ganzen von Grund aus. Sie wurde von *H. Driesch* bei der Ascidie Clavellina zuerst beobachtet. Wurde z. B. bei dieser Seescheide der Kiemenkorb oder auch nur ein Stück desselben abgeschnitten, so tritt an diesem Stück eine totale Rückbildung aller äußeren Organisation ein, bis ein weißer Klumpen ent-

standen ist. In diesem setzt nach einer Ruhepause die Neuorganisation ein, die zur Wiederherstellung einer neuen kleinen Ascidie führt.

Die beiden letzten Arten der Regeneration finden sich bei niederen Tieren entsprechend der Weichheit und Bildsamkeit des Körpers und stehen der „regenerativen Neubildung" bei Pflanzen nahe. Daher unterscheidet sie *E. Schultz* als „Neogenie" von der ersten Form der Regeneration, die er „Anastase" nennt.

Die drei Arten der Regeneration sind nicht nur durch Übergänge miteinander verbunden, sondern können auch nebeneinander an demselben Objekt auftreten. Das gilt z. B. von den an verstümmelten Planarien beobachteten Erscheinungen. Hier kommen alle Arten der Restitution, wie *H. Driesch* sagt, in Kombination vor: Regeneration, Verlagerung, Rückbildung, Verschmelzung und Umdifferenzierung (nach *T. H. Morgan* und *Bardeen*).

Tritt die Regeneration im normalen Zyklus der Lebensvorgänge ein, z. B. beim Nachschub von Epithelien, dem Ersatz von Federn etc., so nennt man sie physiologisch. Wird sie dagegen durch eine Verletzung oder Verstümmelung ausgelöst, so heißt sie „pathologisch", „traumatisch" oder „akzidentell".

### d) Regeneration bei Wirbellosen; Heteromorphose; Morphallaxis; Autotomie; atypische Regeneration.

Die Regenerationserscheinungen bei Wirbellosen sind so mannigfaltig und die Zahl der vorliegenden Beobachtungen so groß, daß ich nur einige typischen Regenerationen von allgemeiner Bedeutung herausgreifen kann. Während bis vor einem Dezennium noch viele Spezies aufgeführt wurden, bei denen eine Regenerationsfähigkeit nicht gefunden war, kann man jetzt wohl sagen, daß diese Fähigkeit ganz allgemein verbreitet ist, wenn auch viele Unterschiede in der Leistung gültig bleiben. Dieser Nachweis ist besonders das Verdienst von *H. Przibram, Kammerer* und anderer Forscher der biologischen Versuchsanstalt in Wien.

Einzellige Tiere haben die Fähigkeit physiologischer und akzidenteller Regeneration. Nur solche experimentell hergestellte Körperteile, welche noch ein Stück des Kerns enthalten, leben fort *(Brandt)* und sind regenerationsfähig, isolierte Protoplasmateile und Kernstücke sterben ab *(Nussbaum, Gruber, Balbiani, Verworn, Hofer, Prowazek)*.

Bei den niedern Metazoen finden wir die erstaunlichsten Leistungen der Regeneration. Unser Süßwasserpolyp Hydra regeneriert nicht nur abgeschnittene Tentakel, sondern der abgeschnittene Tentakel regeneriert auch nach *Roesel, Engelmann* und *W. Marshall* das ganze Tier, wobei freilich nach den Beobachtungen von *Nussbaum* und *Fl. Peebles* anzunehmen ist, daß der Tentakel an seiner Basis noch ein Stückchen der Leibeswand (Hypostom) besitzen muß *(Fl. Peebles)*. Kleine Quer- und Längsstücke regenerieren ebenfalls das ganze Tier. Den berühmten *Trembley*schen Umstülpungsversuch erklärte *Nußbaum* so, daß nicht Ektoderm sich einfach

in Entoderm verwandelt und umgekehrt, sondern daß an den Wundstellen durch aktive Bewegung der Zellen eine gewissermaßen heimliche Rückkehr zur normalen Lagerung von Ektoderm und Entoderm, also eine „Umkrempelung" (*Weismann*) erfolgt.

Wie Hydra, so ist Tubularia, ein Hydroidpolyp, ein Objekt, an welchem prinzipiell wichtige Regenerationserscheinungen beobachtet wurden. Schneidet man aus dem Stamm einer Tubularia mesembryanthemum ein kleines Stück heraus und läßt beide Enden allseitig vom Wasser umspülen, so bildet sich an jedem Ende ein Kopf (*J. Loeb*). Diese Erscheinung, bei welcher an Stelle eines Organs (Wurzel) ein nach Form und Funktion typisch anderes Organ (Kopf) wächst, hat *J. Loeb* als Heteromorphose bezeichnet und damit von der gewöhnlichen Regeneration, bei welcher das verloren gegangene Organ durch ein gleichartiges ersetzt wird, unterschieden.

Bei Schwämmen fand *O. Maas*, daß aus Rinde und Mark bestehende Stücke die äußere Form und die äußerlich sichtbaren Teile des Kanalsystems (Osculum) wiederherstellten, daß aber ein besonderes Wachstum nicht eintrat. Dagegen können isolierte Gewebszellen des Schwammes Microciona nach *H. V. Wilson* ganze Schwämme neubilden (1910).

Regeneration, Regulation und Heteromorphose wurde von *Carlgren* und *Child* bei Actinien beobachtet. Allerlei Abnormitäten bei frei lebenden Actinien und Medusen werden von den Forschern auf Regeneration nach Verletzung im Meere zurückgeführt (*Neppi*).

Viele Arten der Würmer, z. B. Lumbriculus, zerfallen spontan in Teilstücke, die dann das ganze Tier leicht regenerieren. Hier ist also die Regeneration zu einem Modus der Fortpflanzung geworden, oder — im Sinne von *A. Rauber* — hier zeigt sich, daß die Fortpflanzung als ein Modus der Regeneration aufgefaßt werden kann, wie es auch *J. Kennel* (1887) tat. Diese Tatsache macht es verständlich, daß die Würmer durch eine wunderbare Regenerationsfähigkeit ausgezeichnet sind. Teilstücke der Planaria bilden neue Köpfe und Schwänze (*van Duyne*), und man kann nach *W. Voigt* experimentell an einer beliebigen Stelle des Körpers einen zweiten Kopf oder einen zweiten Schwanz, oder auch beides zugleich hervorrufen, je nach der Richtung, die man dem Schnitt gibt. Derselbe Plattwurm liefert nach geeigneten Verletzungen heteromorphe Gehirne und Augen (*V. H. Keiller*) und Doppelköpfe (*Steinmann, Wilhelmi, Stevens*).

An Plattwürmern (Planarien und Polychoerus) machten *T. H. Morgan, Bardeen, Stevens* und *Boring* usw. die wichtige Beobachtung, daß sie nach Verletzungen ihre typische Form wesentlich durch aktive Verlagerungen des alten Gewebes ohne erhebliche Neubildung von Zellen wiederherstellen. *Morgan* nannte diesen Vorgang „Gestaltsveränderung" (Morphallaxis).

Die Regenerationsleistungen des Regenwurms, des Lumbriculus und der Allolobophora sind schon alten Forschern bekannt gewesen und von einer großen Zahl Experimentatoren der neuern Zeit eingehend studiert

worden. Durch sorgfältige Untersuchungen der feinern Vorgänge bei Regeneration der Polychäten und Nemertinen haben sich in der neuesten Zeit besonders *J. Nusbaum* und seine Mitarbeiter verdient gemacht.

Auch bei den Echinodermen ist die Ersatzfähigkeit verlorener Teile sehr groß. Seesterne vermögen abgebrochene Arme, die bis auf das Peristom verloren gegangene Scheibe *(H. Ludwig)* zu reproduzieren; ja nach *V. L. Kellog* kann der Seestern Linckia diplax aus der Schnittfläche eines abgeschnittenen Armes eine neue Scheibe und andere Arme regenerieren.

Unter den Weichtieren vermögen Süßwasserschnecken den Fuß zu regenerieren *(T. H. Morgan)* und abgeschnittene Fühler zu ersetzen *(A. Cerny, Techow)*. Landschnecken regenerieren Defekte des Mantelsaumes und des Fußes *(Techow)*, auch Augenfühler und Augen *(Carrière)*. Verletzungen der Schale werden repariert *(Barfurth, Biedermann, Korschelt)*. An Tunicaten beobachtete *Mingazzini* die Restitution abgeschnittener Siphonenden, ja des ganzen Vorderendes mit Zentralnervensystem.

Bei den Gliederfüßlern (Arthropoden) werden nicht nur Gliedmaßen, sondern auch Körpersegmente regeneriert. Sonderbar ist die Regeneration der Scheren. Die Hummern haben verschiedene Scheren rechts und links: an der einen Seite eine dünne mit schmalen Zähnchen versehene „Zähnchenschere", an der anderen Seite eine dicke, starke, gekrümmte, mit unregelmäßigen Mahlzähnen versehene „Knotenschere". Wird nun bei einem Hummer eine dieser Scheren entfernt, so regeneriert das Tier eine gleichartige Schere. Anders der Krebs Alpheus, der auch verschiedene Scheren hat. Wird hier die stärker differenzierte „Knotenschere" einer Seite abgeschnitten, so wird eine in der Form weniger differenzierte „Zähnchenschere" regeneriert, die nicht verletzte Schere der anderen Seite aber, die „Zähnchenschere", hat sich zur differenzierten „Knotenschere" entwickelt („Kompensatorische Hypertypie, *Przibram* 1901). So findet also eine Vertauschung der Scheren statt, deren Ursache nach *Charles R. Stockard* noch rätselhaft ist.

An dieser Stelle mögen noch einige der Regeneration angehörige oder verwandte Vorgänge erwähnt werden, die besonders bei Arthropoden studiert wurden, aber zum Teil auch in andern Tiergruppen der Wirbellosen vorkommen.

Dazu gehört zuerst die Autotomie, d. h. die Selbstverstümmelung mit nachfolgender Regeneration. Sie besteht darin, daß die Tiere verletzte Glieder oder Körperteile an einer bestimmten Stelle freiwillig abwerfen. Crustaceen und Insekten werfen verletzte Beine oder Scheren an der Grenze des 2. und 3. Gliedes (am Trochanterfemoralgelenk) ab. Bei dem Geradflügler Bacillus Rossii, der in seiner Gestalt Zweige nachahmt, erfolgt die Autotomie an einem dunkeln ringförmigen Verwachsungsstreifen zwischen Schenkel und Trochanter *(Godelmann)*. Die sofortige Autotomie ist, wie *Frédéricq, Bordage* u. a. erkannt haben, ein einfacher Reflexakt, denn sie konnte bei einem dekapitierten Tiere ebensogut hervorgerufen werden, wie bei einem lebenden *(Bordage)* und erfolgt auch bei narkoti-

sierten Crustaceen (*Frédéricq*). Ein Seitenstück zur Autotomie liefert die von *Panna* beobachtete freiwillige Abstoßung der Rückenanhänge bei einer Schleierschnecke (Thetys leporina) und die bei gefangenen Holothurien von *Semper* gesehene Ausstoßung des Darmkanals mit Geschlechtsorganen, Gefäßen und der linken Lunge, die dann mit Ausnahme der Geschlechtsteile schon am 9. Tage regeneriert waren.

Die Autotomie ist ohne Zweifel bei vielen Tieren eine Nützlichkeitseinrichtung, da sie häufig das Leben des ganzen Tieres unter Preisgabe eines Gliedes rettet; dabei wird der Schaden einer Blutung durch besondere Mechanismen auf ein Minimum herabgesetzt (*P. Friedrich*. 1906). Solche Einrichtungen erkannte *V. Emmel* in den Klappen des venösen Blutsinus an der Bruchstelle der Hummerschere (1910). Nach *E. Bordage*, dem wir eine eingehende Untersuchung über die Vorgänge der Autotomie bei den Arthropoden verdanken, besteht bei den pentameren Orthopteren eine Beziehung zwischen der Häufigkeit der Verstümmelung und der regenerativen Fähigkeit im Sinne von *Weismann* (1905, pag. 444). Ein physiologisches Analogon hat die Autotomie in der Abschnürung, Kettenbildung und Knospung bei Würmern und anderen Wirbellosen, auf die schon oben aufmerksam gemacht wurde.

Eine andere bei Arthropoden eingehend studierte regenerative Erscheinung von allgemeinerem Interesse ist die Heteromorphose (*J. Loeb*) deren Wesen schon oben erläutert wurde. Dazu gehört die von *C. Herbst* entdeckte heteromorphotische Regeneration von antennenartigen Organen an Stelle von Augen bei Krebsen und die von *Emmel* beobachtete Regeneration einer Knotenschere an Stelle einer Zähnchenschere beim Hummer. Es findet hier keine „Scherenumkehr", sondern Bildung von zwei Scheren des höchstentwickelten Typus statt. (Vgl. *H. Driesch*, 1905 bis 1908, pag. 128.)

Andere atypische Regenerationen, die zur Heteromorphose übergehen können, wurden von *Bateson* unter dem Begriff „Homöosis" zusammengefaßt (1894). Sie besteht in dem Auftreten von Anhängen oder Bildungen, welche normalerweise einem andren Körpersegmente angehören, z. B. Ersatz des Hinterflügels durch den Vorderflügel bei Insekten. Sie kommt bei bestimmten Insekten- und Crustaceengattungen vor, die nach *Przibram* besonders zur Homöosis prädisponiert sind. *Przibram* unterscheidet nach seinen Untersuchungen teratologischer Funde bei den erwähnten Tieren verschiedene Gruppen von Erscheinungen, die erst nach ihrer Trennung Regelmäßigkeiten erkennen lassen.

Die erste Gruppe, Homöosis s. str., substitutive (*Wheeler*) oder „Ersatz"-Homöosis, folgt der Regel, daß stets an Stelle von höher Differenziertem weniger Differenziertes tritt. Bei den gegliederten Anhängen der Arthropoden bedingt dies infolge der Abnahme der Differenzierungshöhe der Gliedmaßen von vorn nach rückwärts, daß die homöotisch veränderte Gliedmaße der normalen eines folgenden Segmentes ähnlich sieht. Bei den Flügeln ist die Reihenfolge umgekehrt.

Ursache der Ersatzhomöosis ist in manchen Fällen sicher, in allen andren höchstwahrscheinlich Regeneration. Die Homöosis stellt entweder bloß ein vorübergehendes, und zwar palingenetisches (sog. atavistisches) Regenerationsstadium dar oder eine bleibende „Heteromorphose". Bedingung für letztere Erscheinung ist vielleicht allgemein der Verlust des zugehörigen Ganglions (?).

Die zweite Gruppe, Heterotopie, adventive Homöosis oder „Zusatz"-Homöosis, und die dritte Gruppe Heterophorie, translative oder „Versatz"-Homöosis, folgen nicht der für die erste Gruppe aufgestellten Regel. Als Ursachen scheinen in beiden Gruppen neben erblichen Variationen embryonale Umordnungen in Betracht zu kommen. Erstere sind anzunehmen, wenn sie relativ häufig vorkommen, letztere, wo es sich um vereinzelte Fälle handelt.

Den schon erwähnten atypischen Regenerationen sind dann noch die unterschüssigen (Subregenerationen) und die überschüssigen (Superregenerationen) anzureihen. Bei der ersten Form bleibt die Regeneration „hypotypisch", d. h. sie ersetzt das Verlorene nur unvollständig. So bilden kleine Stücke von Hydra weniger Tentakel als größere *(Peebles, Rand)*, Hinterenden von Würmern liefern weniger Kopfsegmente als abgeschnitten waren, gewisse Insekten regenerieren statt eines normalen fünfgliedrigen Fußes nur einen viergliedrigen Fuß *(Bordage, Brindley, Godelmann)*. Bei der zweiten Form wird durch Regeneration mehr gebildet als verloren war. So regeneriert der mexikanische Molch (Axolotl) statt der abgeschnittenen normalen vierfingerigen Hand zuweilen eine fünffingerige *(Barfurth)*.

Ob man in diesen beiden letzten Tatsachen eine palingenetische oder atavistische Regeneration, d. h. ein Verharren des Regenerats auf einem früheren phylogenetischen Ahnenstadium vermuten kann, wird von manchen Forschern bestritten *(Brindley, Herbst, Godelmann, Driesch, Fritsch)*, von anderen verteidigt *(Bordage, Giard, Weismann)*. In neuester Zeit ist *E. Schultz* auf Grund seiner Beobachtungen an Krebsscheren für die atavistische Regeneration eingetreten (1905) und auch *V. E. Emmel* sieht in der Regeneration der Hummerschere ein Zurückgreifen auf die Phylogenie (1906).

Wenn man die Gesamtheit dieser atypischen Regenerationen überblickt, so kann man sie als Varianten verschiedenster Art vom Unterzähligen zum Überzähligen ansehen und kann manchen Formen eine palingenetische Bedeutung zuschreiben. Gilt doch auch der „biogenetische Grundsatz", d. h. die Rekapitulation der Phylogenie in der Ontogenie nur als ganz allgemeine Regel, nicht aber als Gesetz.

### e) Regeneration bei Wirbeltieren.

Die Regeneration jugendlicher Stufen (Larven, Dottersackembryonen) der Amphibien und auch noch der Fische ist sehr ausgiebig, während sie bei erwachsenen Tieren und den höheren Wirbeltierklassen mehr und mehr schwindet.

Amphioxus vermag das abgeschnittene Vorderende zu regenerieren *(Biberhofer, 1906)*.

Bei Cyclostomen ist die Regenerationsfähigkeit der Schwanzspitze mit Wirbelsäule und Rückenmark sehr wahrscheinlich, wie die Beobachtung einer „Cauda trifida" an einem Petromyzon Planeri von *Barfurth* beweist. *Studnička* beschreibt die Schwanzregeneration bei Petromyzon fluviat. (1912).

Bei Amphibien erfolgt Regeneration des Rückenmarkes, aber nicht des Gehirns.

Die Regeneration des Auges ist möglich, wenn ein Teil der Bulbushäute mit dem Opticus in Verbindung bleibt *(Bonnet, Fraisse)*. Die regenerative Neubildung der Linse erfolgt nach *Colucci, G. Wolff, E. Müller, A. Fischel, Brachet* und *Benoit, W. Kochs* u. a. bei Salamander- und Tritonenlarven vom oberen Irisrande aus. Die große Bedeutung dieser Tatsache wurde von *G. Wolff* zuerst erkannt. Nach *A. Fischel* kann eine schwächere Linsenanlage in seltenen Fällen auch vom unteren und seitlichen Irisrande gebildet werden.

Der Schwanz der Amphibien hat eine unbegrenzte Regenerationsfähigkeit. Die Achse des Regenerats steht senkrecht zur Wundfläche und kann durch die Schwimmfunktion langsam *(Barfurth)* oder bei starker Beanspruchung sofort *(Harms)* gestreckt werden.

Durch geeignete operative Verletzung der Chorda dorsalis oder des Skeletts läßt sich ein Gabelschwanz (Cauda bifida, *Barfurth*; Cauda trifida, *G. Tornier*) erzielen.

Kiemen, Kiefer, Gliedmaßen und ihre Teile werden bei urodelen Amphibien regeneriert. Die Regeneration der Gliedmaßen wiederholt im allgemeinen die erste Entwicklung *(Götte, Fraisse)* und liefert nach *G. Tornier* im Skelett zuerst den Spitzenteil, in den Hautpartien zuerst den Basalteil. Durch geeignete Verletzung läßt sich Hypermelie und Hyperdaktylie *(Piana, Barfurth, Giard, G. Tornier, Fritsch)* erzeugen.

Bei erwachsenen Anuren (Fröschen) ist in einigen Fällen Regeneration von Gliedmaßen beobachtet worden *(Spallanzani, G. Tornier, G. Duncker)*. Die Hinterextremitäten der Larven regenerieren in früher Jugend *(Barfurth, Byrnes, Bauer)*, die Vorderextremitäten knospen auch *(Byrnes, H. Braus)*. Der Brillensalamander, der Höhlenmolch (Proteus), der Armmolch (Siren) zeigen eine abgeschwächte Regenerationsfähigkeit der Extremitäten *(P. Kammerer)*. Implantierte Gliedmaßen von Bombinator können eine akzessorische Gliedmaße durch Superregeneration bilden *(H. Braus)*. Spaltung der hinteren Gliedmaßenanlagen bei Anurenlarven kann Verdoppelung des Beckengürtels und der Extremitäten auslösen *(G. Tornier)*.

Eine Regeneration sekundärer Geschlechtscharaktere (Brunstschwielen, Kamm, Schwimmhäute etc.) ist bei Amphibien unter bestimmten Umständen möglich *(Kammerer)*.

Bei Knochenfischen verschiedener Spezies ist die Schwanzflosse regenerationsfähig *(Broussonet, Mazza, T. H. Morgan, Nusbaum* und *Sido-*

*riak, Duncker, Bogacki, Beigel).* Nach *Morril* findet bei Fundulus Regeneration der Flossen, der Schuppen, des Unterkiefers, aber nicht des Operculum und der Linse statt. Dagegen beobachtete *Beigel* Regeneration des Kiemendeckels bei jungen Forellen, Schleien und Karpfen (1910). *J. Nusbaum* und *Sidoriak* (1900) sahen Bildung neuer Mündungen am Enddarm und der Urethra bei Forellenembryonen und *J. Nusbaum* beobachtete unvollkommene Regeneration des hinteren Körperendes bei einem jungen Karpfen (1907).

Auch bei Selachiern scheint die Regenerationsfähigkeit nicht zu fehlen, wie aus Mißbildungen wahrscheinlich regenerativer Natur (am Dornhai) zu schließen ist (*O. Grosser* und *H. Przibram,* 1906).

Bei Reptilien (Eidechsen) ist der Schwanz regenerationsfähig. Durch geeignete Verletzung der Wirbel lassen sich zwei- und dreifach geteilte Schwanzenden erzeugen *(G. Tornier).* Auch die abgeschnittenen Schwanzspitzen von jungen Schlangen und Schildkröten regenerieren (*P. Kammerer,* 1907—1908). Die Kiefer der Eidechse Lacerta agilis sind ersatzfähig, Zehen nicht *(J. Werber).*

Bei jungen Vögeln ist superregenerative Bildung der Hinterbeine, der Blinddärme und der Kloake beobachtet worden *(G. Tornier).* Regenerationsvorgänge am Auge und der Linse kommen nach experimentellen Verletzungen bei Hühnerembryonen zur Beobachtung *(Barfurth* und *Dragendorff).* Die Chorda dorsalis bei Hühnerembryonen ist regenerationsfähig *(Fr. R. Lillie),* die Gliedmaßenanlagen nicht *(Fl. Peebles).* Bei erwachsenen Vögeln regenerieren die Federn *(Samuel)* und der Schnabel *(Larcher,* 1873, *Kennel, Bordage, Weismann, Barfurth).* Die neueste Untersuchung (*Werber* und *Goldschmidt,* 1909) ergab, daß bei jungen Gänsen und Enten amputierte Ober- und Unterschnäbel in 5—6 Wochen mit Epithel, Knochen und nervösen Elementen sich wiederbilden.

Bei Säugern werden Haare, Nägel und Geweihe, also wesentlich nur Gewebe und Gewebsbildungen regeneriert. Viele Fälle von Hyperdaktylie sind wohl auf Regeneration nach Amnionverletzung in frühen Embryonalstadien zurückzuführen (*Ahlfeld, Barfurth, Marchand, Kümmel, Klaussner* u. a.). Nach *Zander, G. Tornier* und *Ballowitz* sollen sogar alle diese Bildungen in solcher Weise entstehen, was nach den Untersuchungen von *H. Braus* und *M. Kaufmann, Barfurth, Slingenberg, Gräfenberg* u. a. unwahrscheinlich ist.

### f) Regeneration der Gewebe: kompensatorische Hypertrophie.

Das große Gebiet der Gewebs- und Organregeneration kann hier nur kurz berührt werden; eine eingehendere Darstellung bieten die Schriften von *Marchand* (1901), *Barfurth* (1910) und *M. Nussbaum* (1911).

Im allgemeinen gelten für diese Regeneration folgende Regeln:

1. Die Gewebe der Wirbeltiere sind regenerationsfähig, manche aber, z. B. die Chorda dorsalis der Urodelen, regenerieren nur in frühen Em-

bryonalstadien (*Barfurth, Nusbaum* und *Sidoriak, Fr. Krauss*). Die Regeneration ist isogen, d. h. sie geht von den persistierenden Elementen derselben Art aus. Einige Ausnahmen sind im nächsten Abschnitt zu erwähnen. Bei Säugern und dem Menschen regenerieren nur solche Gewebe, die auch physiologisch regenerieren.

2. Bei der zeitlichen Aufeinanderfolge der Gewebsregenerationen im Froschlarvenschwanz wird im allgemeinen die primäre Entwicklung wiederholt, nämlich 1. Epidermis. 2. Nervensystem. 3. Chorda und skeletogenes Gewebe. 4. Bindegewebe, Cutis. Kapillaren. 5. Quergestreifte Muskulatur. Die Regeneration der Nervenfasern erfolgt nach den Untersuchungen von *R. y Cajal* viel früher als wir bisher annahmen.

3. Die Art der Regeneration ist abhängig vom jeweiligen Entwicklungsstadium und wiederholt im allgemeinen die diesem Stadium entsprechenden Entwicklungsvorgänge.

4. Die regenerativen Kernteilungen verlaufen nach der typischen Karyokinese. Nur *Schmincke* vertritt die Ansicht, daß die Regeneration quergestreifter Muskelfasern mit amitotischer Kernteilung verläuft. Nach *Hansemann* kann man in jeder differenzierten Zellenart eine besondere Art der Mitose erkennen und leicht die Mitosen der Gefäßendothelien, der Epidermiszellen und der Lymphocyten unterscheiden.

Mit dem Wundreiz und der Regeneration hängt das Auftreten einer kompensatorischen Hypertrophie zusammen. Sie tritt nach *Kammerer* (1905) bei Amphibienlarven vor der Verheilung an der verletzten Körperseite, nach der Regeneration an der entgegengesetzten Seite auf. Ein ähnliches Wechselverhältnis scheint nach Versuchen von *Kochs* zwischen vorderer und hinterer Körperhälfte vorhanden zu sein.

Bei manchen Drüsen fand *Ribbert*, daß je lebhafter die kompensatorische Hypertrophie ist, um so geringer die Regeneration auftritt und umgekehrt (1894).

Auch bei jugendlichen Organen ist von *Ribbert* und seinen Schülern kompensatorische Hypertrophie beobachtet worden. Wurden bei Kaninchen die noch nicht funktionierenden Drüsen einer Seite entfernt, z. B. Ovarien (*Pasewaldt*), Testikel (*Hackenbruch*), Speicheldrüsen (*Krahé*), Mammae (*Trostorff*), so entwickelten sich die übrig gebliebenen stärker. Ebenso sah *Stilling* nach Entfernung einer Nebenniere bei jungen Kaninchen kompensatorische Hypertrophie der anderen.

Endlich kann auch die Gewebsregeneration durch kompensatorische Hypertrophie des Gewebes gewissermaßen ersetzt werden. Als *Pontick* die Lebersubstanz von Kaninchen bis zu 74% der Gesamtmasse entfernte, überstanden von 36 Tieren 11 die Operation und nahmen an Gewicht zu. Schon nach wenigen Tagen trat durch kompensatorische Hypertrophie des übrig gebliebenen Lebergewebes ein gewaltiger Ersatz von Lebersubstanz ein. Daneben kommen in der Leber auch echte Regenerationen von Leberzellen und Gallengängen vor (*Marchand, Orth, Ribbert, Oppel*).

### g) Spezietät der Gewebe; Metaplasie; Bildung der Geschwülste.

Wenn oben gesagt wurde, daß die Gewebsregeneration isogen ist, d. h. sich aus den übrig gebliebenen Zellen derselben Art vollzieht, so gilt dieser Satz allerdings von den höheren Wirbeltieren, erleidet aber bei niederen Tieren Ausnahmen. Von manchen Wirbellosen gilt der Ausspruch von *H. Driesch:* Jedes kann jedes und jedes kann alles. *H. Driesch* weist darauf hin, daß nach den Untersuchungen von *F. v. Wagner* bei Lumbriculus das zentrale Nervensystem (Oberschlundganglion) nicht durch Sprossung vom verletzten Bauchmark aus, sondern vom Hautepithel regeneriert und daß nach der von *L. Schultze* bestätigten Entdeckung *Loebs* das total exstirpierte Gehirn von Ciona (einer Ascidie) vom verletzten Peribranchialepithel regeneriert wird.

Noch viel auffallender ist die von *G. Wolff* ermittelte und in ihrer Bedeutung erkannte Tatsache, daß die herausgenommene Linse des Auges urodeler Amphibienlarven (Triton) vom Irisepithel aus neu gebildet wird. Das Eigenartige dieser Bildung liegt darin, daß die neue Linse nicht wie sonst die Regenerate aus einem Rest gleichartigen Gewebes entsteht — denn die alte Linse ist ganz weggenommen —, sondern vom Irisrande aus, der bei der normalen Linsenbildung gar nicht beteiligt ist. Die Tatsache ist später von *Erich Müller, A. Fischel, Brachet* und *Benoit, P. Röthig* bestätigt, von *W. Kochs* auch für Froschlarven und von *Grochmalicki* bei Knochenfischen festgestellt worden.

Eine Erklärung für diese merkwürdige Tatsache liegt vielleicht in der Erwägung, daß die epithelialen Zellen des Irisrandes überhaupt nicht in dem Sinne spezifiziert sind, wie gewöhnliche Gewebszellen, sondern daß sie noch den Charakter ihrer ursprünglichen Natur der „Ektodermzellen" behalten haben. Wir haben ja durch die Untersuchungen von *Vialleton, Grynfeltt, Heerfordt* und *M. Nussbaum* gelernt, daß bei der normalen Entwicklung die Zellen des Pupillarrandes bei Wirbeltieren sich auch zu glatten Muskelfasern (M. dilatator pupillae) umwandeln können. Die Zellen des Augenbechers, besonders die des Pupillarrandes, haben also überhaupt mehrsache morphologische Potenzen und nähern sich dadurch dem indifferenten Typus der Keimblätterzellen. Unsere Erfahrungen über die Leistungsfähigkeit der Zellen sind also allerdings dahin erweitert worden, daß wir jetzt für die normale, wie für die regenerative Entwicklung drei Arten von Zellen kennen:

*a)* totipotente, nämlich die befruchtete Eizelle und die ersten Blastomeren:

*b)* multipotente, z. B. die Keimblätterzellen und die Zellen des Augenbechers:

*c)* unipotente, d. h. alle endgültig differenzierten Gewebszellen: Muskelzellen, Nervenzellen, Drüsenzellen usw.

Die Entstehung dieser verschiedenen Qualitäten kann man sich sowohl nach der *Roux-Weismann*schen Hypothese einer erbungleichen Zell-

teilung und eines Reserveidioplasmas, als auch nach der *O. Hertwigs*chen Hypothese einer erbgleichen Zellteilung mit späterer Protoplasmadifferenzierung zu erklären suchen. Für die unipotenten Zellen aber gilt ohne Zweifel nach wie vor die durch zahllose Beobachtungen sichergestellte Lehre von der „Spezietät der Gewebe".

Eine Einschränkung dieser Lehre sehen manche Forscher auch in der „Metaplasie", d. h. die „Neubildung eines wohldifferenzierten Gewebes in ein anderes, ebenfalls differenziertes, aber morphologisch und funktionell von jenem verschiedenes Gewebe" *(J. Orth)*. Die Metaplasie von Epithel zu Bindegewebe wird jetzt wohl allgemein nicht mehr anerkannt. Dagegen kommt ein Übergang einer Epithelart in eine andere vor. Das Auftreten ortsfremder Epithelien bezeichnet *Schridde* als indirekte Metaplasie oder Heteroplasie und unterscheidet hiervon die direkte Metaplasie, nämlich die Umwandlung von Bindegewebszellen. So gibt es Fälle von parostalem Callus, in denen sowohl Knochengrundsubstanz als Knochenzellen aus Bindegewebe hervorgegangen sind *(Orth)*.

Die „Metaplasie" führt uns in das Gebiet der Geschwulstbildung, für welche die neueren Experimente über embryonale Implantation von Wichtigkeit sind. Die alte *Virchow-Cohnheim*sche Lehre, daß Geschwülste aus Zellen oder Zellkomplexen entstehen können, die in embryonaler Zeit aus dem organischen Zusammenhang losgelöst werden, ist bekanntlich von *H. Ribbert* wieder aufgenommen und dahin erweitert worden, daß die Loslösung solcher Gewebsteile auch in postembryonaler Zeit erfolgen kann. Solche „Geschwulstkeime" könnten in frühen Embryonalstadien, etwa in den von *W. Roux* beim Froschei beobachteten wenig differenzierten Furchungszellen auf dem Morulastadium, in den von mir experimentell erzeugten „Intraovaten" des Froschembryo, in befruchteten Polzellen des Eies oder losgelösten Blastomeren *(R. Bonnet)* bestehen; indessen sind das vorläufig nur Hypothesen. Etwas Licht wird freilich auf die Entstehung einiger Arten von Geschwülsten durch neuere Versuche und Beobachtungen geworfen. Es sind z. B. Epithel- und Dermoidcysten experimentell hervorgerufen worden *(Schweninger, E. Kaufmann, Ribbert, Rössle)*. Die von *Grawitz* geäußerte Anschauung, daß gewisse Geschwülste der Niere auf versprengte Nebennierenkeime zurückzuführen sind, gewinnt eine Stütze durch die „embryonalen Drüsengeschwülste" *(Birch-Hirschfeld)*, die besonders an der Niere beobachtet werden und für die *Orth* und nach ihm *Hildebrand, Heinecke*, sodann *H. Merkel, Ricker* und viele andere Autoren „eine Entwicklung aus abnormer, embryonaler Anlage als wahrscheinlich annehmen" *(Orth)*. Auch für Knorpelgeschwülste, branchiogene Carcinome u. a. wird von den pathologischen Anatomen eine Entstehung aus versprengten embryonalen Gewebskomplexen angenommen, und *Herxheimer* führt (1907) die Entstehung heterologer Tumoren auf liegengebliebene indifferente Epithelanlagen frühester embryonaler Zeit zurück, aus denen später Tumoren, welche die verschiedenen Epithelarten enthalten, gebildet werden. In neuester Zeit hat nun *E. Schwalbe* den Zusammenhang der Mißbildungen

mit den Geschwülsten, der schon von vielen Autoren betont worden ist, eingehender untersucht (1909) und ist zu dem Ergebnis gekommen, daß wir im Einzelfalle zu prüfen haben, ob eine Geschwulst auf Entwicklungsstörung oder auf Hyperplasie beruht, und hat danach dysontogenetische und hyperplaseogene Geschwülste unterschieden, ohne damit freilich die formale Genese der Geschwülste als erschöpft ansehen zu wollen. Da es nicht meine Aufgabe ist, dieses schwierige Gebiet eingehend zu behandeln, so verweise ich auf die zusammenfassenden Erörterungen von *H. Ribbert, Orth, Marchand, Lubarsch, E. Schwalbe, R. Hertwig, Hansemann, O. Hertwig* und *H. Poll, Beneke* u. a. Aus demselben Grunde kann ich hier das große Gebiet der Transplantation von Geschwülsten nicht erörtern.

### h) Transplantation; Polarität; biochemische Differenz.

Wie die Regeneration durch Ausdehnung der Experimente auf den Embryo ungeahnte Fortschritte gemacht und unsere Einsicht in die Leistungen des Organismus vertieft hat, so verhält es sich auch mit der Transplantation. Die im letzten Dezennium begründete embryonale Transplantation bildet eines der aussichtsvollsten Kapitel biologischer Forschung und darf sich getrost neben die von den Chirurgen außerordentlich entwickelte Transplantation an erwachsenen Tieren und am Menschen stellen.

Als einfachste embryonale Transplantation kann man die Verschmelzung von Einzeleiern zu Riesenbildungen ansehen, die von *Sala* und *zur Strassen* bei Ascariseiern beobachtet und die neuerdings von *zur Strassen* (1906) in seiner hervorragenden Untersuchung über die T-Riesen von Ascaris und ihre Entwicklungsmechanik eingehend studiert wurde. Schon *Metschnikoff* hatte die Verschmelzung von Blastulae bei Echiniden zu einer Großlarve beobachtet. *C. Herbst* sah in seinen Salzkulturen von Echinideneiern das Verschmelzen von Lithionlarven und armlosen Pluteis. *T. H. Morgan* fand, daß unter günstigen Umständen die Blastulae von Sphaerechinus zur Verschmelzung gelangten und *zur Strassen* entdeckte die Vereinigung zweier Ascariseier zu einem T-Riesen, der nach Verschiebungen des Zellenmaterials schließlich eine typische Entwicklung durchmachte. Es gelang dann *H. Driesch* die Vereinigung zweier Echinidenblastulae dadurch zu erzielen, daß er die durch Schütteln membranlos gemachten Eier nach dem Vorgange von *Herbst* in alkalisch gemachtes kalkfreies Seewasser brachte. So entwickelten sich entsprechend größere Larven mit der doppelten Zahl von Zellen in den einzelnen Organen. Es werden also hier, wie *Driesch* sagt, zwei Individualitäten zu einer verschmolzen, aber es gibt auch Fälle, in denen ein Individuum prädominiert.

Bei Transplantation reiferer Embryonalstadien, wie sie von *G. Born* (1897), *Harrison, Morgan, Spemann, Lewis, Braus* u. a. an Keimen und Larven von Amphibien ausgeführt wurde, bleibt die Eigenart des Transplantats erhalten. Diese Methode, die neuerdings besonders von *H. Spemann* durch Operation mit feinsten Glasnadeln vervollkommnet ist,

hat zu wichtigen Aufschlüssen über die morphogene Leistung embryonaler Teile geführt und wird von *H. Braus* systematisch zur Lösung morphologischer Probleme angewandt. So erzielte *Born* junge Frösche, welche aus Stücken zweier Larven zusammengesetzt waren, gleichsinnige Bauchvereinigung einer Larve von Rana esculenta mit einer Larve von Bombinator igneus u. a. *Lewis*, *Spemann* und *Bell* transplantierten Augenanlagen und studierten den Einfluß der Augenblase auf die Bildung der Linse. *Spemann* und *Streeter* verpflanzten Gehörbläschen erfolgreich, und *Harrison* benutzte die Methode zur Aufklärung wichtiger Fragen der Nervenlehre. Er entfernte z. B. mit einer scharfen Schere bei etwa 3 *mm* langen Embryonen des grünen Wasserfrosches den größten Teil der Ganglienleiste samt der dorsalen Hälfte des Medullarrohrs und fand dann an den nach verschiedener Zeit abgetöteten Versuchstieren die motorischen Nerven ganz normal entwickelt, aber vollständig nackt, d. h. ohne *Schwann*sche Zellen. Aus diesen Versuchen war erstens zu schließen, daß die *Schwann*schen Zellen aus der Ganglienleiste stammen und zweitens, daß die Achsenzylinder der Nervenfasern unabhängig von jenen Zellen entstehen können als Auswüchse der Ganglienzellen.

Auch die Transplantationen von *H. Braus* ergaben interessante Tatsachen. Die Anlage einer vorderen oder hinteren Extremität konnte bei Larven der Feuerkröte (Bombinator igneus) an eine beliebige ortsfremde Körperstelle verpflanzt werden und entwickelte sich entsprechend ihrer Eigenart, als wenn sie an der normalen Stelle verblieben wäre. So gelang es *Braus*, frei auf den Kopf transplantierte Knospen vorderer Extremitäten aufzuziehen, und der italienische Forscher *Bianchi*, der nach derselben Methode experimentierte, konnte in der Peribranchialhöhle die Knospen hinterer Gliedmaßen Wurzel fassen lassen. Solche Pfropfungen sind so lebenskräftig, daß sie superregenerative Bildungen erzeugen können, wie sie von *Barfurth* und *Tornier* an Amphibienextremitäten experimentell hervorgerufen wurden. So kann aus der transplantierten Gliedmaßenknospe nach *Braus'* Beobachtungen eine zweite Gliedmaße hervorsprossen, welche sich ganz gleich, aber spiegelbildlich zu ihr verhält. Sehr beachtenswert ist dabei der Befund, daß die transplantierte Anlage Nerven erhält, während die akzessorische Gliedmaße ganz nervenlos ist. Eine verpflanzte Schultergürtelanlage entwickelt sich trotz abnormer Nachbarschaft wie sonst. Innerhalb einer frühen Periode der Entwicklung des Vorderbeins kann sich aus verschieden großen, aus der Anlage des Schultergürtels exzidierten Stückchen je ein ganzer wohlproportionierter Schultergürtel entwickeln, dessen Gesamtgröße entsprechend geringer ist. Die Schultergürtelanlage ist also ein harmonisch-äquipotentielles Restitutionssystem im Sinne von *H. Driesch*. Die Selbständigkeit des restituierenden Schultergürtelmaterials äußert sich auch in spiegelbildlichen Verdoppelungen oder Mehrfachbildungen der transplantierten Extremitäten.

Die wichtige Tatsache, daß die transplantierten embryonalen Stücke sich am fremden Orte ihrer Eigenart entsprechend entwickeln, hatte

schon *Born* zu der Bemerkung veranlaßt, daß die Entwicklung in diesen Stadien wesentlich auf Selbstdifferenzierung der einzelnen Teile im Sinne von *W. Roux* beruht. Ein entsprechendes Eigenleben zeigen embryonale Gewebsteile oder Embryonen, die in einen anderen Tierkörper eingepflanzt werden (*Zahn, Leopold Fischer, Féré* und *Lutier* u. a.). Aus den Versuchen von *Birch-Hirschfeld* und *Garten* ergab sich, daß z. B. Injektion des fein zerzupften Knorpelgewebes junger Embryonen in die Leber erwachsener Tiere bei verschiedenen Tierarten (Ziege, Kaninchen, Huhn, Salamander, Frosch) tumorartige Neubildungen von Knorpelgewebe in Leber und Zunge erzeugte. Ihr Wachstum war freilich nur ein vorübergehendes, da sie schließlich sequestriert und resorbiert wurden. Die Ursache davon sieht *Ribbert* in unzureichender Ernährung und gestörter Funktion. Solche embryonale Gewebe vertragen die Heteroplastik nach *Saltykow* besser als die erwachsenen und die Aussichten für die Proliferation verlagerter Gewebsstücke sind nach *Lubarsch* und *Lengemann* um so günstiger, je weniger hoch differenziert die verlagerten Zellen sind.

Auf die Bedeutung dieser embryonalen Transplantationen für die Gewebsbildung wurde schon im vorigen Abschnitt hingewiesen.

Auch bei erwachsenen niederen und höheren Tieren behält das Transplantat seine Eigenart. *Fl. Peebles* verpflanzte (1900) Individuen derselben oder verschiedener Polypen-Kolonien von Hydractinia aufeinander mit dem Erfolge, daß der eine Komponent auf den anderen ohne Einfluß blieb. Ähnliche Versuche gelangen mit entsprechendem Ergebnis bei Hydra (*Trembley, Wetzel, Peebles* u. a.), bei Tubularia (*J. Loeb, Peebles* u. a.), bei Ascidien (*Giard*) und bei Schmetterlingspuppen. Auch bei Würmern (Lumbriciden) ergaben die Versuche von *Joest, Leypoldt* und *Korschelt,* daß in der Regel die Artmerkmale der Komponenten erhalten blieben, auch wenn der eine Komponent sehr klein war.

Durch diese Transplantationen wurde auch die theoretisch bedeutsame Frage entschieden, ob der Organismus dieser Tiere eine unveränderliche Polarität besitzt oder nicht. Sie wurde verneint. *J. Loeb* machte an einem herausgeschnittenen Stück von Tubularia die schon erwähnte Entdeckung, daß jedes Ende bei allseitiger Umspülung von Wasser einen Kopf bildet (Heteromorphose *J. Loeb*). Nach Versuchen von *Fl. Peebles, Kölitz* und *Wetzel* hat Hydra keine unabänderliche Polarität, so daß *Zoja* und *Wetzel* die heteromorphose Bildung eines Kopfes an Stelle eines Fußes nachweisen konnten. Bei Regeneration eines Stolo zu einer Ascidie bleibt nach *H. Driesch* die Polarität zwar in der Regel gewahrt, die Differenzierung kann aber auch der ursprünglichen Polarität entgegengesetzt erfolgen. Aus dem Vorderende einer zerstückelten Kolonie der zu den Anthozoen gehörigen Renilla zog *E. B. Wilson* einen Doppelpolypen, da das Hinterende ebenfalls einen Polypen bildete (1903). Wird ein Regenwurm hinter dem Magen durchschnitten, so bilden beide Enden einen Schwanz (*T. H. Morgan*), und *C. Rutloff* gelang bei Lumbriciden die Aufpfropfung invers gelagerter Stücke mit Bildung eines Kopfes an der aboralen Schnitt-

fläche. Als *T. H. Morgan* ein Stück des Femur vom Salamander umgekehrt in eine Hauttasche des zentralen Femurstumpfes einpflanzte, bildete das proximale, vorher distale Ende des Pfröpflings eine neue Tibia, Fibula, Tarsalia und Phalangen, nicht aber ein Femur und ein Becken.

Es gilt also von niederen Tieren, sogar noch von niederen Wirbeltieren dieselbe Tatsache wie von niederen Pflanzen, daß nämlich eine unveränderliche Polarität hier nicht vorhanden ist.

Wenn bei niederen Tieren und jungen Entwicklungsstadien die Leichtigkeit der Regeneration mit der Leichtigkeit der Transplantation zusammenfällt, so sind bei höheren Tieren und beim Menschen beide Fähigkeiten stark reduziert. Trotzden haben Biologen und Chirurgen gerade bei Säugern und beim Menschen die Transplantation in den letzten Dezennien mit größtem Eifer und gutem Erfolge ausgeübt, weil der praktische Heilerfolg lockte. Durch diese Experimente und Studien haben wir einen Einblick in die Leistungen des Organismus und seines Chemismus gewonnen, der sonst nicht erlangt worden wäre. Man kann mit Bezug auf diese Erfahrungen *Abderhaldens* Wort zustimmen, daß da, wo „die Morphologie ihre Pionierarbeit beendet hat, der Biologe mit seinen Fragen kommt" (2, S. 37). In der Aufklärung der Transplantationsvorgänge hat die Biologie, speziell die Biochemie das letzte Wort.

Es ist an dieser Stelle nicht möglich, die zahllosen an erwachsenen Tieren und an Menschen ausgeführten Transplantationen zu besprechen. Eine Übersicht über dieses Gebiet habe ich (1910) gegeben und verweise außerdem auf die Darstellung bei *Garrè*, *Korschelt*, *Borst* und *Enderlen*, *Oppel*, *M. Nussbaum* u. a. Ich muß mich begnügen, hier die allgemeinen Grundlagen und Ergebnisse der Transplantation in Kürze zu besprechen.

Man hat die Verpflanzung eines Körperteiles, der teilweise noch durch eine „Brücke" mit seinem Ursprungsort im Zusammenhang bleibt, als „Transplantation" im engeren Sinne von der Verpflanzung nach völliger Loslösung als „Pfropfung" unterschieden. Indessen ist die Bezeichnung Pfropfung mehr für pflanzliche Objekte im Gebrauch. Für tierische Objekte hat man verschiedene Arten der Transplantation nach dem Material unterschieden: Wird das zu verpflanzende Objekt dem Versuchs-Individuum selbst entnommen, so ist die Transplantation autoplastisch; entstammt es einem anderen Individuum derselben Spezies, so ist sie homoioplastisch, und wird das Transplantat von einem Individuum einer anderen Spezies entnommen, so ist sie heteroplastisch; wird lebloses Material, z. B. Paraffin, Elfenbein, benutzt, so heißt sie nach *Marchand* alloplastisch. Nach dem Erfolge hat *Oppel* die Transplantationen in die Zwischenpflanzung oder „Interplantation" *(Oppel)* oder auch funktionelle Substitution einerseits und in die funktionelle Transplantation *(Roux)* oder Implantation andererseits eingeteilt. Im ersten Fall wird das „Implantat" durch körpereigenes Gewebe nach und nach ersetzt, so daß ein mittelbarer funktioneller Anschluß entsteht. Im zweiten Fall

heilt das „Implantat" als solches ein und gewinnt einen unmittelbaren funktionellen Anschluß.

Dieser zweite Fall, die Implantation mit direktem funktionellen Anschluß, deren Bedeutung *Roux* weitschauend schon 1895 lange vor ihrer praktischen Anwendung erkannte, kommt nach dem jetzigen Stande unserer Erfahrung nur vor bei Autotransplantation. Es gelingt z. B. autoplastisch arterielle Gefäßstücke zu tadelloser Einheilung zu bringen mit funktioneller Brauchbarkeit bis zu 118 und 122 Tagen (*Borst* und *Enderlen* 1909, S. 78).

Der erste Fall, die Interplantation mit mittelbarem funktionellen Anschluß, wird bei den vielfach ausgeführten Homoiotransplantationen beobachtet. Hier wird die Wundheilung z. B. bei Arterientransplantation von den körpereigenen Arterien ausgeführt, während das fremde Gefäßstück langsam aufgelöst und durch körpereigenes Gewebe ersetzt wird (*Borst* und *Enderlen*, S. 79). Heteroplantationen von Gefäßstücken hatten dagegen keinen dauernden Erfolg (*Borst* und *Enderlen*, S. 82). Die günstigen Erfahrungen bei Autotransplantation, die zweifelhaften bei Homoiotransplantation und die Mißerfolge bei Heterotransplantation gelten nach den neuen Experimenten von *Stich*, *Makkas*, *Carrel*, *Dowmann*, *Borst* und *Enderlen* u. a. auch für andere Organe, z. B. Schilddrüse, Niere etc.

Zur Illustration der Fortschritte auf diesem Gebiet wähle ich als Beispiel die Erfahrungen der Neuzeit in bezug auf die Knochentransplantation.

Die klinischen Erfahrungen der letzten Dezennien des vorigen Jahrhunderts hatten uns gelehrt, daß es unschwer gelingt, bei Tier und Mensch aus dem Verbande getrennte Knochenstücke an ihrem Ursprungsorte oder in einen anderen Defekt des lebenden Skeletts wieder einzuheilen und zu knöcherner Vereinigung mit dem betreffenden Skelettknochen zu bringen. Als nun aber *Barth* (1895) die feineren histologischen Vorgänge bei dieser Einheilung studierte, gelangte er zu folgender von früheren Experimentatoren wesentlich abweichenden Anschauung: replantierte und transplantierte periostgedeckte und periostfreie Knochenfragmente sterben ab und werden durch junge Knochen vom Periost und Mark der Unterlage ersetzt; nur bei sehr jungen Tieren kann die Wiedereinheilung ausgelöster Fragmente mit einer teilweisen Erhaltung ihrer Vitalität erfolgen. Auch totes Material (macerierte Knochensubstanz, dekalzinierter Knochen, Schwammstücke, ausgeglühte Knochenteile) kann zur Deckung eines Defektes verwandt und zur Einheilung gebracht werden: stets erfolgt aber nachher eine zentralwärts fortschreitende Knochenneubildung vom Periost und Mark aus, die einen Ersatz oder eine Durchwachsung des Fremdkörpers bewirkt.

Diese Mitteilungen *Barths* warfen viele bestehenden Anschauungen um und fanden eine Stütze in den Ergebnissen der experimentellen Untersuchung *Fischoeders* über das Schicksal replantierter Knochenstücke (1899,

Auch die Erfahrungen von *Birch-Hirschfeld* und *Garten*, nach welchen implantierte embryonale Gewebe sich zwar zuerst weiter differenzierten, dann aber sequestriert und resorbiert wurden, sprachen für *Barth*. Aber andere Experimentatoren erzielten bessere Resultate. *Wolff* und *David* vertraten die Ansicht, daß transplantierte Knochenstücke ihre Vitalität erhalten und *Ollier* gelangte durch seine Versuche zu dem Ergebnis, daß periostgedeckter Knochen — freilich auch nur dieser! — die Möglichkeit einer Einheilung mit Erhaltung der Vitalität durch das Periost bietet.

Und diese Anschauung ist jetzt zur Herrschaft gelangt. *Barth* hat insoferne Recht behalten, als toter Knochen und lebendfrischer Knochen ohne Periost nach Transplantation der Resorption verfällt. Was aber den lebendfrischen mit Periost bekleideten Knochen anbetrifft, so heilt er nach der Verpflanzung ein und verwächst knöchern, wobei es keinen großen Unterschied macht, ob der Knochen von demselben Menschen stammt oder von einem anderen. Das Periost bleibt am Leben, der Knochen stirbt ab, wird resorbiert und in demselben Maße vom Periost aus durch neugebildeten ersetzt (*Kausch*, 1909). Nach Versuchen von *Axhausen* an Hunden trat die schnellste und reichste Knochenbildung ein bei Autotransplantation. Bei homoioplastischer Transplantation lebte das verpflanzte Stück in der Mehrzahl der Fälle weiter, aber nicht immer und bei Heterotransplantation waren die Ergebnisse ungünstig.

Wie erfolgreich diese Erfahrungen zur Transplantation großer Knochenstücke, ganzer Gelenke *(Lexer)* u. a. verwertet wurden, ist aus den oben erwähnten Zusammenstellungen zu ersehen. Die Transplantationen anderer Gewebe und Organe habe ich selber (1910, S. 46—68) übersichtlich mitgeteilt.

Zum Schluß noch ein Wort über Totaltransplantationen von Gliedern und ganzen Organismen. Bei Amphibien gelingt die Transplantation von Gliedmaßen mit nachfolgender Regeneration. *O. Kurz* hat (1908) Extremitätenteile vollentwickelter Tritonen in eine Hauttasche des Tieres eingepflanzt und daran die Regeneration ganzer Gliedmaßen festgestellt. Als aber *Carrel* und *Guthrie* das abgenommene Hinterbein eines Hundes wieder an seinen Platz setzten, blieb das Glied zwar 2 Tage lang teilweise funktionsfähig, starb aber dann ab.

Als Totaltransplantation eines sich entwickelnden Organismus kann man das interessante Experiment von *W. Heape* ansehen, der bei Angorakaninchen 24—32 Stunden nach der Befruchtung die im 2—4zelligen Furchungsstadium befindlichen Eier aus dem Eileiter entnahm und in den Eileiter eines Kaninchens von einer anderen Rasse übertrug. Die Keime entwickelten sich zu echten Angorakaninchen, ohne daß die Adoptivmutter irgend einen Einfluß auf sie ausgeübt hätte.

Eine Totaltransplantation von ganzen fertigen Organismen stellt der Versuch von *Sauerbruch* und *Heyde* dar, der darauf ausging, Warmblüter (Kaninchen desselben Wurfs, desselben Geschlechts und vom jugendlichen Alter) so zu vereinigen, daß sie gewissermaßen ein Organismus werden. Die Vereinigung wird dadurch hergestellt, daß die Bauch-

höhlen beider Tiere in Kommunikation gebracht werden, so daß eine „Parabiose" entsteht. Nach doppelseitiger Nierenexstirpation eines Tieres übernahmen die Nieren des anderen kompensatorisch die Funktion für beide bis zu einem gewissen Grade. Bei Unterbindung einer Dünndarmschlinge bei dem einen Tiere zeigte das andere starke Temperatursteigerung, die *Sauerbruch* auf Resorption zurückführt. Es kommt vor, daß von zwei so vereinigten Tieren das eine verkümmert, während das andere sich kräftig entwickelt; wahrscheinlich nimmt dieses Tier dem anderen Nahrungsstoffe weg.

Überblickt man die bisherigen Erfahrungen über Transplantation, so liegt das Hauptergebnis in dem Satze, daß die Transplantation am sichersten gelingt, wenn Unterlage und Transplantat möglichst nahe verwandt sind, also bei Autotransplantation. Das Hindernis für das Gelingen einer erfolgreichen Transplantation bei Homoiotransplantation und Heterotransplantation erwachsener Tiere besteht im Vorhandensein „biochemischer Unterschiede" (*Borst* und *Enderlen*, S. 133; *Oppel*, S. 160). So verstehen wir, daß bei den Versuchen von *Schöne* die Transplantationen von Hautlappen bei Ratten und Mäusen am besten bei Autotransplantation und bei jungen gleichgeschlechtlichen Geschwistern gelangen, und daß in den Experimenten von *L. Loeb* die Heterotransplantationen von Hautstücken mit Abnahme der Verwandtschaft immer ungünstiger wurden wie an der Reihe: Meerschweinchen, Kaninchen, Hund, Taube, Frosch erprobt wurde. Die Gewebeflüssigkeit fremder Spezies wirkt direkt giftig auf das Transplantat, wie sich am deutlichsten an der Hämolyse bei Transfusion artfremden Blutes und der schlimmen Wirkung auf das operierte Individuum zeigt. Man hat dieses Verhalten neuerdings bekanntlich zur Beurteilung der Verwandtschaft verschiedener Tiere verwandt (*Friedenthal* und *Lewandowsky*) und man kann aus diesen Erfahrungen auf Verschiedenheiten der Eiweißmoleküle schließen, die nicht nur bei Tieren verschiedener Spezies, sondern auch bei erwachsenen Tieren derselben Art und nach *H. Braus'* Versuchen sogar zwischen Embryonen und erwachsenen Individuen derselben Amphibienspezies (Bombinator pachypus) besteht. Sie ist bei Embryonen und sehr jungen Individuen geringer als bei Erwachsenen, und dieser Unterschied hängt zusammen mit dem Unterschiede der drei Lebensperioden, die *W. Roux* als kausal zu scheiden aufgestellt hat: erstens der embryonalen Periode der vererbten selbständigen Anlagen, drittens der Periode funktionellen Reizlebens und zweitens der dazwischen liegenden Periode doppelten ursächlichen Bestimmtseins (*W. Roux*, Ges. Abh., I. S. 804 und Arch. f. E., Bd. 21, 1906, S. 467—468). In der ersten dieser Perioden sind, wie schon *Oppel* bemerkt, die Bedingungen für homoio- und heteroplastische Transplantationen günstiger als in der zweiten und dritten Periode.

**i) Beeinflussung der Regeneration durch äußere und innere Faktoren.**

Wie in der tierischen Entwicklung „formative Reize" (*K. Herbst*, 1901) eine wichtige Rolle spielen, so wird auch die Regeneration durch

äußere und innere Reize beeinflußt, die besonders in der neuesten Zeit das lebhafteste Interesse der Forscher auf sich gezogen haben.

### 1. Äußere Faktoren.

Schon *Spallanzani* kannte den Einfluß der Temperatur auf die Regeneration. Nach *Barfurths* Versuchen ist die Verwandlung der Froschlarven und die Regeneration in ihrem Tempo direkt abhängig von der Temperatur; entsprechendes fand *Moore* bei Tubularia. Für die Entwicklung gilt nach *O. Schultze, O. Hertwig, H. Driesch, K. Peter, W. Ostwald* u. a. dieselbe Erfahrung.

Strahlen aller Art wirken bei einer gewissen Intensität hemmend auf Regeneration und Entwicklung. *Finsens* Lichtbehandlung vermag nach *Jansen* (1907) tierische Gewebszellen zu töten; bei einstündiger Behandlung gehen epitheliale Zellen bis zu 0·5 *mm* Tiefe zugrunde. Die pathologischen Veränderungen in den Geweben sind vorzugsweise den ultravioletten Strahlen zuzuschreiben, gegen die sich der Organismus durch Pigmentbildung schützt *(F. B. Solger, Zieler)*.

Besonders intensiv wirken die Röntgen-, Becquerel- und Radiumstrahlen. *Perthes* fand, daß Carcinome nach intensiver Behandlung mit Röntgenstrahlen erweichen, sich verkleinern und ausscheiden. Regeneration des Epithels bei Wunden der Menschen- und Kaninchenhaut wurde durch Röntgenstrahlen wesentlich verlangsamt und der bestrahlte Flügel eines jungen Hühnchens blieb im Wachstum zurück. *Rudberg* erzielte durch Röntgenbestrahlung Involution der Thymus mit nachfolgender Regeneration. Auch am Hoden ist der schädigende Einfluß der Röntgenstrahlen an den Samenzellen festgestellt worden *(Herxheimer* und *Hoffmann, Kyrle, Regaud)*; später erfolgt Regeneration von den erhalten gebliebenen Spermatogonien. Wenn die Spermien der Kröte Röntgenstrahlen ausgesetzt werden und noch befruchtungsfähig sind, so entwickeln sich die von ihnen befruchteten Eier zunächst normal, bleiben aber nachher in der Entwicklung zurück und liefern Mißbildungen. Ähnlich verhalten sich die Eier von Hühnern, Seeigeln und Knochenfischen *(Gilman* und *Baetjer, Bardeen)*.

Ebenso schädigend wirken Becquerelstrahlen. *Becquerel* selber stellte fest, daß diese Strahlen die Keimfähigkeit von Pflanzensamen zerstören, und ähnliche Beobachtungen sind in großer Zahl an pflanzlichen und tierischen Keimen gemacht worden.

Auch Radiumstrahlen hemmen die Entwicklung und die Regeneration. Als *Schaper* einen unverletzten Triton bestrahlte, dann Bein oder Schwanz amputierte, setzte zwar die Regeneration normal ein, blieb aber später stehen und schlug in Degeneration um (1906). Eier von Rana fusca blieben nach 15stündiger Bestrahlung im Furchungsprozeß zurück gegenüber normalen Eiern. *Heinecke* untersuchte die Milz von mit Radiumstrahlen behandelten Mäusen und fand Zerfall der Leukocytenkerne. Nach neueren Versuchen von *O. Hertwig* wurden in Entwicklung begriffene Eier von Fröschen und Axolotln durch Radiumstrahlung so geschädigt, daß Mißbildungen

bildungen entstanden. Reife Samenfäden von Echinodermen und Fröschen behielten nach der Bestrahlung zwar ihre Befruchtungsfähigkeit, übertrugen aber dann die Radiumwirkung auf das Ei (1910).

Elektrische Ströme von geringer Stärke und niedriger Spannung beschleunigen nach *Oren E. Frazer* die Regeneration, Ströme von großer Stärke und hoher Spannung dagegen verlangsamen sie (1910).

Chemische Stoffe beeinflussen ebenfalls die Regeneration. *C. Herbst* fand (1904), daß bei Reparation der Tubularia mesembryanthemum $SO_4$" eine Rolle spielt: in $SO_4$"-haltigem Medium verläuft die Regeneration schneller und es werden mehr Tentakel rapariert. Viele Experimente beweisen, daß eine bestimmte Zusammensetzung des umgebenden Mediums (Wasser) für die normale Entwicklung nötig ist, und die künstliche Parthenogenesis ist nach *J. Loeb* durch Einwirkung zahlreicher Chemikalien zu erzielen.

Die chronischen Vergiftungen der Säugetierleber durch Phosphor rufen in den Leberzellen eine auf Abwehr des Giftes gerichtete Tätigkeit und eine Veränderung der Zellen hervor, deren Resultat eine „Gewöhnung", d. h. eine funktionelle Anpassung im Sinne *Roux*' ist *(Oppel)*.

Ferner gehört hierher auch die Art der Verletzung, welche den Verlauf der Regeneration und das Produkt derselben, das Regenerat, beeinflußt. Als *Barfurth* das Schwanzende von Amphibienlarven durch Schnitte von verschiedener Richtung amputierte, ergab sich die seitdem an sehr vielen anderen Objekten bestätigte Regel, daß die Längsachse des Regenerats immer senkrecht auf der Schnittebene stand, daß das Regenerat demgemäß zur Längsachse des alten Schwanzstumpfes gerade, schief unten oder schief oben gewachsen war (1886). Derselbe Experimentator erzielte bei Tritonen und Axolotln durch komplizierte Amputation des Unterarms die regenerative Bildung überschüssiger Gliedmaßenteile (1894) und später (von 1896 an) ermittelte *G. Tornier* Methoden, um solche Mißbildungen „sicher" zu erzeugen. Ob bei höheren Wirbeltieren (Amnioten) die vielfach beobachtete Hyperdaktylie als Superregeneration nach Amnionverletzung *(Zander, Tornier, Ballowitz)* ausgelöst wird oder ob sie eine durch Keimesanlage vermittelte Mißbildung ist *(Gräfenberg)*, bleibt noch zu entscheiden. Wahrscheinlich kann die Mißbildung durch jeden dieser beiden Faktoren hervorgerufen werden (*Barfurth, Kümmel, E. Schwalbe, Slingenberg* u. a.).

Wie bei den Gliedmaßen die Hyperdaktylie, so ist am Schwanz von Amphibien und Reptilien eine überschüssige Schwanzspitze durch eine bestimmte Art der Verletzung hervorgerufen worden. *G. Tornier* erzielte bei Reptilien, *Barfurth* bei Amphibienlarven solche Gabelschwänze. Bei Reptilien konnte *G. Tornier* sogar dreifache Schwanzenden durch geeignete Verwundung erzeugen. *Glückselig* hatte die Bildung von zwei Schwanzspitzen an einem Eidechsenmännchen beobachtet, dem ein anderes den Schwanz abgebissen hatte, so daß nur ein Drittel seiner Länge übrig blieb und der Stumpf zwei Linien vor seinem Ende noch eine bis auf die

Wirbelsäule eindringende Wunde hatte: es wuchs nun nicht bloß der Stummel zu einem neuen Schwanz aus, sondern auch aus der Wunde am Rücken des Schweifes erhob sich eine Warze, die sich gleichfalls verlängerte und einen zweiten Schweif bildete (1863, S. 1135). Diese Einzelbeobachtung war zwar wertvoll, wurde aber von *Glückselig* nicht durch Experimente weiter verfolgt und kausal abgeleitet.

Nach *Kammerers* Versuchen (1905) bewirkt Amputation oder Verletzung auf einer Körperseite, daß die linke und die rechte Körperseite sich ungleich rasch entwickeln. Vor Verheilung der Wunde erscheint bei Anuren die Vorderextremität auf der Verletzungsseite zuerst, nach Verheilung oder Regeneration erscheint sie dagegen auf der unverletzten Seite zuerst.

## 2. Innere Faktoren.

Wir sehen uns nun die inneren Faktoren an, welche die Regeneration beeinflussen und beachten als nächstliegenden die Ernährung.

Bei Hydra fusca wird nach *Nussbaum* und *Krapfenbauer* die Knospung durch reichliche Fütterung begünstigt; hungernde Zimmerkulturen bilden nach *Krapfenbauer* keine Geschlechtsprodukte. Dabei kann aber wohl die Temperatur als mittelbare Ursache eine Rolle spielen. Versuche von *Frischholz* lehrten, daß Hydra fusca bei Hunger oder Fütterung in der Kälte und zwar meist nach vorheriger „Depression" *(R. Hertwig)* Geschlechtsprodukte bildete, wobei die Kulturen nur Männchen lieferten. Daß die Fütterung allein wohl nicht entscheidend ist, lehren die Erfahrungen bei der Regeneration, denn wir stoßen hier auf die seltsame Tatsache, daß Unterernährung die Regeneration nicht stört: Glieder, Schwanzspitzen von Amphibien, Teile von Würmern werden regeneriert, auch wenn das Tier hungert *(Barfurth, T. H. Morgan, G. G. Scott)*. Bei manchen Rückbildungen und Neubildungen kann der Hunger sogar als „förderndes Prinzip" wirken *(Barfurth* 1887), z. B. bei Verwandlung der Insekten *(Weismann)* und der Amphibien *(Barfurth)*; ebenso bei regulatorischen Reduktionen der Wirbellosen *(H. Driesch, E. Schultz)*, welche nach *E. Schultz* dem Individuum über schwierige Verhältnisse hinweghelfen können.

Ein anderer innerer Faktor von gestaltender Bedeutung ist die Funktion, deren Einwirkung von *W. Roux* als „funktionelle Anpassung" und „funktionelle Orthopädie" bezeichnet wurde. Ein Beispiel dafür bietet die von *Barfurth* experimentell nachgewiesene regulatorische Streckung schief regenerierter Schwanzspitzen bei Amphibien, bei welcher die Schwimmfunktion des Schwanzes mitwirkt. Als *Harms* Larven mit schief amputierten Schwänzen durch künstliche Wasserwirbel stark bewegte, hielt sogar die Streckung der Teile im Regenerat gleichen Schritt mit seiner Bildung, so daß die neue Schwanzspitze sogleich gerade wurde. Bei chirurgischen plastischen Operationen kommen funktionelle Anpassungen ebenfalls vor, deren Zustandekommen nicht immer leicht zu erklären ist. Wenn z. B.

bei Erkrankung eines Mittelhandknochens (Spina ventosa) der kranke Knochen durch ein Stück der Ulna ersetzt wird, so nimmt das transplantierte Stück nach 3—5 Monaten eine Biskuitform an, die dem ersetzten Knochen täuschend ähnlich wird *(W. Müller* und *Timann)*.

Auch bei Regeneration der Sehnen und Knochen sind funktionelle Anpassungen beobachtet worden *(W. Roux, Levy, Triepel* u. a.). *Pommer* fand bei einem Falle von lateraler Thoraxspalte die denkbar mögliche Minderung der ungünstigen Folgen des Defekts durch ein einheitliches Zusammenwirken der Funktionen herbeigeführt. Der Muskelmagen der Gans wird durch verschiedene Ernährung zu funktioneller Anpassung gezwungen *(W. Roux* und *Schepelmann)* und beim feineren Aufbau der Zähne und Knochen spielt nach *W. Gebhardt, V. v. Ebner, H. Triepel, R. Thoma, Revenstorf, Kirchner* u. a. die Beanspruchung durch Funktion eine wichtige Rolle. Der Knorpelcallus wird voluminöser, wenn die Fragmente des gebrochenen Knochens beweglich bleiben, als wenn sie immobilisiert werden: der Knorpel bildet sich an der Oberfläche der Fragmente, die sich aneinander reiben *(M. Ullmann, Giani)*.

Merkwürdig ist der Einfluß der Funktion auf transplantiertes Muskelgewebe. *Jores* nähte Stückchen von Oberschenkelmuskeln des Kaninchens in die Rückenmuskulatur desselben Tieres, nach Anlegung eines gleich großen Defektes, sorgfältig ein. Der größte Teil des Stückes wurde dann nekrotisch und abgestoßen. Wurde dagegen das transplantierte Stück durch die Haut hindurch täglich 6—7mal mit schwachen faradischen Strömen gereizt, so kam es zu vollständiger Einheilung.

Endlich sei noch darauf aufmerksam gemacht, daß der verdiente amerikanische Forscher *Child* die ganze Formregulation bei Würmern (Cestoplana, Leptoplana) im wesentlichen auf den Einfluß der Funktion zurückführt.

Ein rätselhafter Einfluß auf den Organismus, seine Funktionen und gewisse regenerative und hypertrophische Bildungen kommt der sogenannten „inneren Sekretion“ zu. Sie wird besorgt von drüsenartigen Organen (Schilddrüse, Epithelkörperchen, Hypophysis, Nebenniere, *Langerhans*sche Inseln des Pankreas), denen ein besonderer Ausführungsgang fehlt und die die Produkte ihrer Tätigkeit in den Kreislauf abgeben *(A. Kohn)*. Bei einigen Drüsen, z. B. dem Hoden, kommt nicht nur eine echte, nach außen gerichtete Sekretion (Bildung der Spermien) vor, sondern es werden von ihnen auch durch „innere Sekretion“ in den Kreislauf chemische Substanzen abgegeben, die eine eigentümliche Wirkung auf die Bildung der äußeren Geschlechtsmerkmale ausüben. Diese Vorgänge sind von *M. Nussbaum* und *P. Schiefferdecker* (1905), von *A. Kohn* (1910) und von *J. Meisenheimer* (1909, 1912) zusammenfassend behandelt worden.

Nach den Versuchen von *M. Nussbaum, Harms, Meyns, Steinach, J. Meisenheimer* können durch Kastration bei männlichen Fröschen die Daumenschwielen zur Rückbildung gebracht werden, und andrerseits ver-

mag neu dem Körper eingefügte Hodensubstanz die Daumenschwielen zu erneuter Regeneration anzuregen. Maßgebend ist dabei ein chemischer Einfluß des Hodensaftes *(F. Pflüger)*. Merkwürdig ist nun die Tatsache, daß dieser Einfluß auf die Brunstorgane nicht nur durch die Substanz des Hodens, sondern — freilich in schwächerem Maße — auch durch die Ovarialsubstanz bewirkt wird *(Meisenheimer, Steinach)*. Bei anderen Tieren (Ratten, *Steinach;* Tritonen, *Bresca*) ist ebenfalls eine Wirkung des Hodensaftes auf die sekundären Geschlechtscharaktere festgestellt worden. Werden ferner Extrakte von Kaninchenembryonen in die Bauchhöhle von noch nicht gedeckten Kaninchen injiziert, so wachsen die Mammae, und bei Kaninchen, die schon geworfen haben, tritt Absonderung von Milch ein *(Lane-Claypon* und *Starling)*. Das befruchtete Ei bzw. der Embryo bildet also einen Reizstoff, der als „Hormon" einen spezifischen chemischen Reiz auf die Mammae ausübt. Sehr bekannt geworden ist hauptsächlich durch *Rörig* der Einfluß der Geschlechtsdrüsen auf die Geweihbildung bei Cerviden. Totale Kastration eines jugendlichen Individuums hat zur Folge, daß weder Stirnbeinzapfen noch Geweih jemals gebildet werden. Verletzungen und Erkrankungen eines Hodens können die Stangenbildung desselben oder der entgegengesetzten Seite beeinflussen. Weibliche Individuen mit atrophischen Ovarien und Hermaphroditen entwickeln in der Regel Geweihe. Umgekehrt hat aber das Abschneiden der Geweihstangen keinen Einfluß auf die Zeugungsfähigkeit.

Auffallend ist diesen Erfahrungen gegenüber die Angabe von *J. Tandler*, daß das Geweih der Rentiere ein von den Geschlechtsdrüsen unabhängiger Spezialcharakter ist.

Auch beim Menschen ist der Einfluß der Keimdrüse auf die Ausbildung gewisser Organe durch das Verhalten der Kastraten (Eunuchen, Skopzen) bekannt geworden.

*Tandler* und *Grosz* untersuchten (1910) den Einfluß der Kastration auf den Organismus bei den „Eunuchoiden". Sie unterscheiden zwei Haupttypen, den eunuchoiden Hochwuchs bzw. die eunuchoide Disproportion und den eunuchoiden Fettwuchs. Der eunuchoide Hochwuchs ist dem gesteigerten Längenwachstum bei Kastraten, welches wie die Tierexperimente beweisen, durch den Wegfall der Keimdrüse bedingt ist, analog. Charakteristisch für den Fettwuchs der Eunuchoiden ist die Form und Lokalisation des Fettansatzes. Auf diesen Symptomenkomplex scheint die Hypophyse Einfluß haben zu können. Bei Skopzen, einer russischen Sekte, die frühzeitige Kastration der männlichen Individuen ausübt, ergab die Röntgenuntersuchung Persistenz der Epiphysenfuge des proximalen Humerusendes, bei einem anderen Individuum Vergrößerung der Sella turcica. Allgemein ist auffallende Körperlänge, geringe Lordose der Lendenwirbelsäule, Genu valgum, bedeutende Fettentwicklung, Kleinheit der Schilddrüse und der äußeren Genitalien, Mangel der Prominentia laryngea, Kastratenstimme, mangelhafte Bartbildung, dabei Libido sexualis, Erektion und Orgasmus.

Es ist übrigens sehr beachtenswert, daß der Einfluß der Kastration bei Wirbeltieren auffallend groß, bei Wirbellosen (Insekten) verschwindend klein ist. *Steinach* fand, daß bei männlichen Ratten, die in der 3. bis 6. Lebenswoche kastriert waren, Samenblasen und Prostata ganz rudimentär, der Penis kurz und dünn, die Eichel unentwickelt blieben und ein Geschlechtstrieb überhaupt nicht vorhanden war. Ganz anders verhält sich dagegen ein Schmetterling. Werden jungen Raupen nach dem Auskriechen aus dem Ei die Geschlechtsdrüsenanlagen vollständig entfernt, so sind doch beim definitiven Falter die Geschlechtsgänge und die Kopulationsorgane voll entwickelt, der Geschlechtstrieb ist bei beiden Geschlechtern intensiv (*J. Meisenheimer,* 1909, 1912; *Kopeć* 1910). *Meisenheimer* ist nun der Meinung, daß es sich bei diesen Erscheinungen nicht notwendig um eine Abhängigkeit des Geschlechtsapparats von den zugehörigen spezifischen Geschlechtsdrüsen (Hoden oder Ovarium) zu handeln braucht, sondern daß die von diesen Drüsen abgegebenen Stoffe zu dem allgemeinen Haushalt des Körpers, zur normalen Entfaltung aller seiner Teile nötig sind. Man muß aber doch zugestehen, daß wenigstens bei Wirbeltieren der spezifische Einfluß der Geschlechtsdrüsensekrete auf die Entwicklung des Geschlechtsapparats sehr augenfällig ist (*M. Nussbaum,* 1909; *Steinach,* 1910).

Ein Einfluß der „inneren Sekretion" ist nun auch bei mehreren anderen Organen bekannt geworden und durch Exstirpation bzw. Transplantation des betreffenden Organs bekannt geworden. Da der Einfluß sich nicht speziell auf Regeneration, sondern allgemein auf Wachstum und Wohlbefinden des ganzen Organismus bezieht — wahrscheinlich durch „Entgiftung" — so kann ich diese Untersuchungen hier nur ganz kurz berühren.

Totalexstirpation der Schilddrüse beim Kropf hat akute Verblödung, Cachexia thyreopriva *(Kocher)* zur Folge, auch tritt Myxödem und sporadischer Kretinismus auf. Werden mit der Schilddrüse die sogenannten Nebenschilddrüsen (Epithelkörperchen) weggenommen, so tritt Tetanie ein. Die Ausfallserscheinungen können beseitigt werden durch erfolgreiche Transplantation der Schilddrüse, bzw. der Epithelkörperchen in das Knochenmark, in die Milz etc.

Auch die Nebenniere ist zur Entgiftung des Körpers bestimmt. Ein Hund erträgt den Verlust einer Nebenniere, stirbt aber nach Wegnahme beider Drüsen (*H. Coener,* 1907). Erfolgreiche Transplantationen in das subcutane Gewebe, in den Hoden, in die Niere etc., die von vielen Forschern *(Poll, Christiani, Schmieden, v. Haberer* und *Stoerk)* ausgeführt wurden, beseitigen die natürliche Wirkung der Exstirpation.

Versuche über den Einfluß der Thymus ergaben noch kein einheitliches Resultat. Während *O. Nordmann* nach Exstirpation der Thymus bei Hunden keine Veränderungen am Knochensystem beobachtete (1910), fand *Klose* Kalkverarmung bei Kindern (1910), wahrscheinlich durch Nucleinsäurevergiftung. *Ugo Soli* bei Kaninchen ebenfalls schlechte Entwicklung

des Skeletts (1910). Auch eine Korrelation zwischen Thymus und Keimdrüsen ist von *G. Gellin* beobachtet worden (1910).

Das Corpus luteum bildet nach *L. Loeb* eine Substanz, die durch die Zirkulation dem Bindegewebe der Uterinschleimhaut zugeführt wird und unter gewöhnlichen Verhältnissen die prädeciduale Zellwucherung hervorruft, in Verbindung mit mechanischen Faktoren aber (Einbettung des Eies, Einschnitt in die Uteruswand) die mütterliche Placenta erzeugt (1910).

Schon die geringen Erfahrungen, die wir bisher auf diesem Gebiet gesammelt haben, gestatten einen Einblick in die Bedeutung der „inneren Sekretion" und der Korrelation zwischen den Organen im Organismus. Hier hat die experimentelle Forschung noch eine dankbare Aufgabe, deren Ziel *Abderhalden* uns vorhält, wenn er sagt:

„Es wäre unrichtig, mit der Feststellung einer inneren Sekretion bestimmten Organen eine Sonderstellung zuzuweisen. Es ist nicht einzusehen, weshalb die Organe, welche ihr Sekret nicht, wie die „gewöhnlichen" Drüsen, nach außen, sondern direkt an das Blut abgeben, von den letzteren irgendwie gesondert werden sollten. Zahllose Beobachtungen aus der Physiologie und der Pathologie zwingen uns zu der Annahme, daß alle Organe untereinander in irgend welchen Beziehungen stehen. Wir dürfen uns nicht damit zufrieden geben, daß dieser Konnex durch die Nervenbahnen vermittelt werden kann. Es ist viel wahrscheinlicher, daß die einzelnen Körperzellen nicht nur Stoffwechselendprodukte an die Lymphe und das Blut abgeben, sondern auch Sekrete. Diese Anschauung erhellt ohne weiteres aus dem ganzen anatomischen Aufbau des tierischen Organismus und der Betrachtung des gesamten Stoffwechsels." (*Abderhalden*, 1, S. 636.)

Ein Einfluß des Nervensystems auf die Regeneration ist bei manchen Objekten sichergestellt, bei anderen nicht vorhanden oder zweifelhaft. Letzteres gilt von den meisten Beobachtungen an Wirbellosen. So hat nach *Bardeen* bei Planaria das Nervensystem Einfluß auf die Neubildung eines Kopfes, aber nach *T. H. Morgan* können auch seitliche, ganz nervenlose Stücke einen Kopf bilden. Bei Leptoplana haben die Kopfganglien keinen Einfluß auf die Regeneration am hinteren Körperende, dagegen regeneriert das Vorderende nicht, wenn die Ganglien entfernt wurden (*Child*, 1905). *Child* schreibt aber diese Tatsache nicht einem direkten formativen Einfluß des Nervensystems zu, sondern der indirekten Einwirkung der Funktion; bei Cestoplana erfolgte die Regeneration des Vorderendes auch, wenn die Ganglien noch mit weggeschnitten waren. Nach *J. Nusbaum* ist bei dem Wurm Nereïs diversicolor das Nervensystem bei der Wundheilung entbehrlich; für die eigentliche Regeneration aber notwendig (1908).

Bei Crustaceen wird nach *C. Herbst* ein Auge regeneriert, wenn das Ganglion erhalten bleibt; wird aber das Auge mit dem Ganglion weggeschnitten, so wird ein antennenähnliches Organ gebildet. *E. B. Wilsons* Versuche an Alpheus lehrten, daß nach Entfernung beider Scheren unter Nervendurchschneidung eine leichte Verzögerung der Regeneration ein-

trat, und in anderen Fällen, daß das Nervensystem z. B. die Umbildung einer kleinen Schere in eine große kontrolliert.

Bei Embryonen ist im Stadium der Organbildung gemäß den Anlagen *(W. Roux)* die Entwicklung und Regeneration unabhängig vom Nervensystem. Das bewies *Harrison* für die Muskeln und fand in dieser Anschauung eine Unterstützung in den Untersuchungen *Goldsteins*. *Braus* fand bei Transplantationsversuchen von Gliedmaßenknospen bei Amphibienlarven, daß eine „akzessorische" Extremität, die sich zuweilen von einer implantierten Gliedmaße durch Superregeneration bildet, Skelett, Muskulatur und Gefäße entwickelt, daß aber das ganze Nervensystem fehlt!

Auch von den Geweben gilt, daß Ausschaltung der nervösen Leitung die Regeneration nicht aufhebt *(E. Neumann, Kirby, Ollier, Kusmin, Muscatello* und *Damascelli, Kapsammer, Rubin)*. Da aber diese Beobachtungen älter sind und wir seitdem durch *Ramon y Cajal* in der Silbermethode ein Mittel zum Nachweis der Achsenzylindersprossen in frühester Zeit erhalten haben, bedürfen diese Angaben einer Kontrolle. Für sicher halte ich aber eine Epithelregeneration ohne Einfluß der Nerven, so daß für einfache Gewebe die Annahme einer Vita propria zu Recht besteht.

Bei den Wirbeltieren aber scheint nun die eigentliche Organregeneration in festerer Abhängigkeit vom Nervensystem zu stehen. Nach Exzision des Plexus brachialis setzt die Regeneration von Vordergliedmaßenteilen zwar rechtzeitig ein und bildet den „Regenerationskegel", verläuft aber sehr langsam und liefert ein nach Form und Größe verkümmertes Regenerat *(R. Rubin)*. Für die Regeneration der hinteren Extremität (Triton taeniatus) stellte *G. Wolff* die Abhängigkeit vom Nervensystem fest (1910). Die Angaben von *Goldfarb* (1910), daß bei Larven und erwachsenen Tieren (von Diemyctylus viridescens) Regeneration ohne Mithilfe eines Nervenreizes regeneriert werden, sind von *Fr. C. Walter* zurückgewiesen worden: nach *Walters* Experimenten tritt Regeneration der Extremitäten ohne das Nervensystem nicht ein, und wahrscheinlich sind die sensiblen Elemente desselben allein dafür verantwortlich zu machen (1911).

Da bei höheren Tieren mit hochentwickeltem Nervensystem die Experimente über die Einwirkung der Nerven auf die Regeneration häufig zu schwere Verletzungen des Versuchstieres oder seiner Organe verursachen, so hat *S. Morgulis* Tiere mit einfacherer Nervenorganisation, Ophiuriden (Schlangensterne), gewählt, in deren Armen das Nervensystem leicht ohne wesentliche Beschädigung anderer Gewebe entfernt werden kann. Wurde an einem Arm ein peripheres Stück amputiert und von der Wundfläche aus der Nerv — richtiger die Ganglienkette — zentralwärts zerstört, so trat keine Regeneration am Armstumpf ein. Wurde an anderen Armen wieder ein peripheres Stück weggenommen und im oberen Teil des Armes nahe der Scheibe der Nerv vom zentralen Nervenring abgetrennt, so wurde gewöhnlich ein verkleinertes Regenerat produziert. Der Einfluß des Nervensystems hängt also von seiner An- oder Ab-

wesenheit an der Wunde ab, nicht aber von einem vermuteten funktionellen Übergewicht (1912, S. 514ff.).

Aus diesen Versuchen ergibt sich das Ausbleiben der Regeneration beim Fehlen des Nerven an der Wundfläche, wie etwa bei *Morgans* Versuchen die Regeneration nicht eintrat beim Fehlen der Chorda dorsalis bei Amphibienlarven (vgl. unten). Ob die Ausschaltung auch anderer Gewebe an der Wundfläche diese Wirkung hat, wie *Morgulis* vermutet, bleibt zu untersuchen. Eine Analogie zu den Beobachtungen an höheren Tieren liegt im Auftreten eines verkümmerten Regenerats in *Morgulis'* Versuchen, wenn der Nerv des Armes vom Zentrum getrennt war.

Die Korrelation zwischen Nervensystem und Endorganen bei der Entwicklung und Regeneration wird noch durch neuere Experimente illustriert. Aus Versuchen von *Marian Lydia Shorey* (1910) ergab sich, daß beim Hühnchen und bei Amphibien die Entwicklung der Neuroblasten abhängig ist von den Endorganen. Und nach *B. Dürken* (1911) sind beim Frosch die Korrelationen zwischen Nervensystem und peripherem Organ auch für die Regeneration des letzteren von Bedeutung. Ist infolge von dessen frühzeitiger Exstirpation zunächst der zugehörige Teil des Nervensystems geschädigt worden, so fällt eine etwaige später einsetzende Regeneration des peripheren Organs mangelhaft aus (S. 342).

Einen auffallenden Einfluß auf die Regeneration der Nerven selber hat die Schilddrüse. Nach einer Mitteilung von *Fr. K. Walter* hat die vollständige Entfernung der Schilddrüse bei Kaninchen eine so starke Hemmung der Degenerations- und Regenerationsvorgänge der peripheren markhaltigen Nerven zur Folge, daß nach zwei Monaten auch an der Verletzungsstelle fast noch gar keine neuen Markfasern gebildet sind. Diese Hemmung ist nicht aus der mit der Verletzung eintretenden Cachexia strumipriva zu erklären, da diese auch ohne sie auftritt, sondern es handelt sich um eine spezifische Wirkung der Schilddrüse auf die zentralen Ganglienzellen und die Zellen der *Schwann*schen Scheide. Deshalb genügen relativ kleine Drüsenreste, um die Hemmung zu verhindern und Fütterung mit Thyreoidintabletten haben bei thyreoidektomierten Kaninchen ein sofortiges Wiedereinsetzen des Degenerations- und Regenerationsprozesses zur Folge. Die Nebenschilddrüsen zeigen die beschriebene Funktion der Schilddrüse nicht, sind also auch hierin prinzipiell von dieser zu unterscheiden.

Auch andere Organe beeinflussen die Regeneration, z. B. die Chorda dorsalis der Amphibien bei Regeneration der Schwanzspitze (*T. H. Morgan*). Beim Fehlen der Chorda reicht das an der Schnittfläche vorhandene Medullarrohr für die Regeneration des Schwanzendes nicht aus; sie tritt erst ein, wenn die Chorda bis zur Schnittfläche regeneriert ist. Die Anwesenheit des ursprünglichen Hydranten auf einem Stück des Stammes von Corymorpha verhindert nach *H. B. Torrey* nicht nur die Bildung eines neuen Hydranten (der sonst leicht erzielt wird), sondern auch die Bildung von Knospen.

Wie der Entwicklungsgrad und das Alter auf die Regeneration wirken, hat *Barfurth* an der Chorda dorsalis und den Extremitäten der Amphibienlarven nachgewiesen. Sehr junge Tiere regenerieren die Chorda dorsalis als solche und die hinteren Extremitäten, etwas ältere nicht mehr. Dieser Befund gilt auch für die vorderen Extremitäten von Amphibienlarven *(Byrnes, Braus)*. Nach *Kammerer* erlischt die Regenerationsfähigkeit der Hinterextremitäten bei Bombinator und Pelobates erst mit Eintritt der Metamorphose, und die Schwanzspitze wird bei Anurenlarven in der Regel nur so lange regeneriert, als die Vorderextremitäten noch nicht erschienen sind. Auch bei neotenischen (zwei- oder mehrsommerigen) Anurenlarven hat das Alter insofern Einfluß, als sie die Hinterglieder nicht mehr zu regenerieren vermögen; dagegen regenerieren sie den Ruderschwanz so gut wie normale Larven.

Hierher gehört auch die Beobachtung von *A. Bauer* (1905), daß bei jungen Larven von Fröschen aus dem April und Mai die Regenerationsfähigkeit, wie auch die Entwicklungsfähigkeit größer und energischer ist als bei Junilarven. Dabei ist zwar nicht das Alter an sich entscheidend, wohl aber der Zeitpunkt der Geburt, der in Anpassung an die Jahreszeit dem Organismus günstigere Anlagen liefert als die verspätete Geburt.

Bei Polypen (Eudendrium) bestimmt das Alter zwar nicht den Modus, wohl aber die Zahl und den Grad der Regeneration. Je jünger die Region, desto zahlreicher und schneller erscheinen Polypen (*Goldfarb*, 1907). Die Regeneration von Hydroidkolonien, z. B. Clytia Bakeri, vollzieht sich nach *H. B. Torrey* in direkter Abhängigkeit vom Alter, wie an der Art der Stielringelung festgestellt wurde.

Auch der Ort der Verwundung, das Niveau des Schnittes, kann von Bedeutung sein für die Regeneration. Der urodele Diemyctylus regeneriert nach *Morgan* den Schwanz um so schneller, je weiter basal geschnitten wurde; dasselbe gibt schon *Spallanzani* für das Bein des Salamanders und *King* für die Arme des Seesterns an (vgl. *H. Driesch*, 1905 bis 1908, S. 133). Je weiter vorn das Kopfende von Lumbriculus abgetragen wird, um so mehr hintere Segmente treten nach *Morgulis* und *C. Müller* in gleicher Zeit auf. Bei Actinien ist nach *Moszkowski* je nach der Höhe, in der man operiert, nicht nur die Regenerationsdauer, sondern auch Verlauf und Art der Regeneration gänzlich verschieden. Wird der Schnitt sehr hoch angelegt, so daß er aber den Tentakelkranz mitnimmt, so erfolgt „Reproduktion" von einer zum physiologischen Ersatz der Tentakel bestimmten Zellschicht aus. Liegt der Schnitt in der Höhe der Mitte des Oesophagus, so tritt „Regeneration" ein. Sind die Stücke klein und enthalten sie wenigstens ein Stückchen der Fußscheibe, so rollen sie sich um ihre Vertikalachse zusammen und stellen durch Morphallaxis ohne Gewebsneubildung ein neues Tier her (1907). Nach *Moszkowski* waltet bei Actinien das Bestreben vor, immer diejenige Art des Ersatzes zu wählen, bei der die Restitutio ad integrum am schnellsten erfolgt.

Auch bei der physiologischen Regeneration der Gewebe spielt das Alter nach *Fr. Merkel* eine Rolle. Einzelne Gewebe, z. B. die Epithelien, bewahren ihren ursprünglichen embryonalen Charakter und erhalten durch schnelle Regeneration unbrauchbar gewordener Zellen ihre Integrität und jugendliche Leistungsfähigkeit. Ihm nahe steht die glatte Muskulatur, weniger günstig ist die quergestreifte Muskulatur und am schlechtesten ist das Herz gestellt. Bei den Binde- und Stützsubstanzen ist die Reproduktionskraft sehr gering und die Nervenzellen entfernen sich mehr wie alle anderen von ihrer frühesten Struktur und Anordnung, so daß ihnen die Fähigkeit der mitotischen Teilung verloren gegangen ist.

Daß der Organismus als solcher die Regeneration in gewissen Grenzen leitet und beherrscht, ist aus mancherlei Beobachtungen ersichtlich *(H. Driesch, E. Schultz)*. Bei der Morphallaxis z. B. geschieht ja die Umformung des verbliebenen Restes zum Ganzen ohne Vermehrung der Elemente. Nach *Stevens* und *Boring* verläuft die Restitution des Polychoerus caudatus ohne Beteiligung von Teilungen.

Umgekehrt kann auch das Regenerat den ganzen Organismus beeinflussen. Bei der Qualle Cassiopea xamachana beobachtete *Stockard*, daß beim Hungern die Körpergröße abnimmt und daß diese Abnahme bei regenerierenden Individuen bedeutender ist. Das neue regenerierende Gewebe wächst mit großer Energie nach Maßgabe seiner außerordentlichen Fähigkeit zur Nahrungseinverleibung auf Kosten der alten Körpergewebe. Man wird dabei an die ähnliche Wirkung mancher malignen Tumoren erinnert.

Erzwungene Wiederholung von Regenerationsvorgängen kann die eigentümliche Wirkung haben, daß sie die Regeneration beschleunigt oder das Regenerat vergrößert. *H. Driesch* machte als erster darauf aufmerksam, daß nach Abschneidung eines reparierten Kopfes am aboralen Ende eines Tubulariastammes ein zweiter Kopf fast in allen Fällen schneller gebildet wurde als das erstemal (1897). *Zeleny* fand bei Salamanderlarven, daß jede durch Wiederholung erzwungene Regeneration einen Vorteil gegenüber der früheren aufwies. Der Scheibenrand der Meduse Cassiopea zeigte eine Überlegenheit der zweiten Regeneration über die erste, wenigstens in bezug auf die Quantität, wenn auch nicht in bezug auf die Differenzierung. Bei Bachkrebsen und Meereskrebsen war eine Veränderung der Regeneration bei wiederholter Scherenwegnahme nicht bemerkbar.

Anhangsweise sei hier darauf hingewiesen, daß auch Regenerate ohne mit dem Ursprungsstumpf in Verbindung zu sein, also durchaus von sich aus regenerieren können *(H. Driesch)*. Solche regenerierenden Regenerate fand *H. Driesch* bei Clavellina und beim Annelid Amphiglena, *Morgulis* und *C. Müller* bei Lumbriculus.

### k) Theorien der Regeneration.

An Versuchen, das Rätsel der Regeneration zu lösen, fehlt es nicht, aber man wird mit *Weismann* gestehen müssen, daß eine eigentliche letzte Erklärung des wunderbaren Vermögens der Regeneration zurzeit nicht möglich ist.

Während die meisten Forscher die Regeneration als eine allgemeine Eigenschaft der Lebewesen ansehen, vertritt *Weismann* die Ansicht, daß die Regeneration nicht auf einer primären Eigenschaft des Bion beruht, sondern eine Anpassungserscheinung ist. Ist das richtig, so müssen leicht verletzbare Organe (z. B. die Extremitäten der Crustaceen) eine hohe, schwer verletzbare, wie die inneren Organe, aber eine geringe oder gar keine Regenerationsfähigkeit besitzen. Die Begründung dieser Argumente wird von den Gegnern dieser Anschauung bestritten, von den Anhängern derselben verteidigt. So führt in der jüngsten Zeit *O. Maas* für *Weismanns* Anpassungstheorie die Tatsachen ins Feld, daß Teile von Schwämmen, die leicht verletzt sind, auch leichter regenerieren, während solche Schwämme, die durch eine zähe Rinde geschützt sind, die geringste Regenerationskraft besitzen (1910). Dagegen spricht die von vielen Forschern beobachtete Regeneration innerer Organe (Lunge, Hoden etc.) bei Amphibien gegen *Weismanns* Lehre.

Die älteste Theorie der Regeneration wurzelt in ihrem Vergleich mit der Krystallisation, der von *H. Spencer* und *Haacke* in reinster Form, von *E. Pflüger, O. Hertwig, H. Driesch* u. a. nur mit Einschränkungen vertreten wird. Man kann zugeben, daß die Regeneration nicht etwas den Organismen allein Eigentümliches, etwas spezifisch Vitales, also nur durch „komplexe" Wirkungsweisen Mögliches darstellt *(W. Roux)*, da wir ja die Regeneration und eine primitive gestaltliche Selbstregulation der Krystalle durch *A. Rauber* und *H. Przibram* kennen gelernt haben.

Wie *Weismann* ein „Regenerationsidioplasma" im Zellkern annimmt, von welchem der Ersatz des Verlorenen ausgeht, so besteht auch nach *W. Roux* in vielen besonders an der Regeneration beteiligten Zellen noch indifferentes Keimplasma, welches das ganze Lebewesen, wenn auch in „unentwickeltem" Zustande enthält. Wird nun das „entwickelte" Ganze verstümmelt oder gestört, so kann durch gestaltende Beziehungen zwischen dem „entwickelten" und dem „unentwickelten" Ganzen die Ergänzung bzw. Reparation des Entwickelten determiniert und bewirkt werden. Auch kann dabei die Art der besonderen Reparationsvorgänge in jedem besonderen Falle durch eine besondere Art des Gestörtseins bestimmt werden. Das ganze Geschehen ist also in jedem einzelnen Falle vollkommen auf mechanische Weise „bestimmt", es bleibt also für eine „Seele" nichts mehr zu bestimmen und es ist nicht nötig, wie es *H. Driesch* tut, eine Entelechie dazu anzunehmen.

*H. Driesch* dagegen vertritt die Ansicht, daß die Regeneration wie jede Lebenserscheinung im tiefsten Grunde unter der Herrschaft einer dem Organismus innewohnenden vitalistischen „Autonomie" steht. Diese Eigengesetzlichkeit bezeichnet er nach Aristoteles auch als „Entelechie" (ἐν τὸ τέλος ἔχεν), weil sie gewissermaßen vorbestimmte Ziele in sich trägt. „Der Organismus ist kein Krystall, auch keine Maschine, sondern, wenn man einmal ein Gleichnis haben will, noch am ehesten eine Fabrik."

Diesem Standpunkt nähert sich *C. Herbst*, wenn er in den „formativen Reizen" die Ursache ontogenetischer und regenerativer Vorgänge sieht. *Roux* hält es aber nicht für empfehlenswert, die Anwendung des Wortes „Reiz" in der Entwicklungslehre von der „Auslösung" von „Selbstdifferenzierung" auch auf die Veranlassung „abhängiger Differenzierung" bei regenerativen Vorgängen auszudehnen.

*R. Hertwig* leugnet nicht, daß aus der weitgehenden Teilbarkeit der lebenden Substanz und aus den zweckmäßigen Regulationen des Organismus äußeren Eingriffen gegenüber einer mechanischen Auffassung des Lebens große Schwierigkeiten erwachsen; er hält es aber nicht für erwiesen, daß diese Schwierigkeiten, wie *H. Driesch* meint, unüberwindbar sind.

Auch *zur Strassen* und *T. H. Morgan* erkennen die neovitalistische Anschauung der „Entelechie" als Erklärung der Regulation nicht an. Nach *T. H. Morgan* rufen Druck und Spannungsbeziehungen, die auf Irritabilität und Kontraktilität der Zellen beruhen, die formbildenden Reize hervor.

*Child* sucht das Wesentliche der Formbildung bei der Regeneration in der Anpassung an die Funktion, *S. J. Holmes* in der symbiotischen Gemeinschaft der Teile des Organismus und *H. Przibram* betrachtet die Regeneration als beschleunigtes Wachstum.

Die innige Verwandtschaft zwischen Entwicklung und Regeneration hat *A. Rauber* zur Aufstellung einer radikalen Theorie veranlaßt. Er faßt die ganze Ontogenese als Regeneration auf und verwertet so einen Gedanken, dem schon *J. Kennel* einmal Ausdruck gegeben hatte. Nach *Rauber* gehört alle individuelle Entwicklung mit demselben Recht in das Gebiet der Regeneration, wie ein Wiederersatz verlorener Glieder. Ein Organismus kann eine verlorene Zelle regenerieren, eine Zelle aber auch einen von ihr verlorenen Organismus. Das sind die beiden Extreme regeneratorischer Leistung. *Rauber* hat auf Grund dieser Theorie alle regenerativen und ontogenetischen Vorgänge in geistreicher Weise in ein System gebracht.

Sehr oft ist die Ansicht ausgesprochen worden, daß die Regeneration eine Wiederholung ontogenetischer und phylogenetischer Prozesse ist. Man kann mit *Sergius Morgulis* den Wert dieser Anschauung bestreiten, da wohl in vielen Fällen bei der Regeneration wie bei der Ontogenese aus gleichen Keimblättern gleiche Organe gebildet werden, daß es aber auch bedeutsame Ausnahmen von dieser Regel gibt.

Die phylogenetische Entstehung der Regeneration sucht *G. Tornier* durch die Hypothese zu erklären, daß aus einzelligen Organismen von universeller Befähigung mehrzellige Organismen entstanden, deren Zellen auch noch universell begabt waren, während ihr Plasmaleib schon Differenzierung zeigte. Aus diesen gingen dann die höheren Metazoen hervor mit spezialisierten Geweben und lokalisierten Funktionen. Jede Zelle enthält aktive und absterbende Fähigkeiten, die an besondere Plasmen gebunden sind. Die inaktiven Zellplasmen der absterbenden Fähigkeiten entsprechen

den Nebenplasmen von *Hansemann, Weismann* und *W. Roux* und können in den Zellen eventuell als Regenerativkräfte zur Auslösung kommen.

Mit Recht lenken andere Forscher die Aufmerksamkeit auf denjenigen Faktor, der die Regeneration auslöst, d. h. auf den Regenerationsreiz (Restitutionsreiz, *H. Driesch*).

Nach *J. Nusbaum* ist die Regeneration eine Reihe von Reaktionen des verwundeten Organismus auf äußere und innere Reize: die Art und Weise dieser Reaktionen und somit auch der Verlauf der Regeneration hängt bei verschiedenen Tierformen und in verschiedenen Organen von spezifischen erblichen latenten Tendenzen ab, welche durch die betreffenden Reize ausgelöst werden.

Diese Unterscheidung von „Reiz" und „Reaktion" trifft das Wesentliche des ganzen Regulationsverlaufes im Sinne von *H. Driesch*. Dazu kommt nach *H. Driesch* noch die „Vermittlung" zwischen primärem Reiz und Reaktion in den Fällen, wenn die Restitution nicht am Ort des operativen Eingriffes selber erfolgt. Die Analyse dieser Faktoren wolle man in *H. Driesch*' „organischen Regulationen", S. 108 ff. weiter verfolgen. An dieser Stelle muß ich mich begnügen, noch dem Wesen des Restitutionsreizes einige Worte zu widmen, da in ihm doch das primäre Agens der Regeneration liegt.

Die vorliegenden Angaben der Forscher über das Wesen dieses Reizes werden von *H. Driesch* sehr skeptisch behandelt. Die bloße Existenz einer Wunde, die Beseitigung gewisser mechanischer Hindernisse, die Veränderung in den Ernährungsbedingungen, die quantitativen und qualitativen Bedingungen der Ernährung, die Einwirkung der Funktion (funktionelle Anpassung, *W. Roux*) und die formbildenden Substanzen *(Sachs)* genügen der wesentlichen Bedeutung des Restitutionsreizes nicht. Der Restitutionsreiz ist nicht ein einfaches Agens, sondern etwas, was mit der Besonderheit der Störung zusammenhängt (1907—1908). Will man verstehen, was damit gemeint ist, so muß man die Tatsachen berücksichtigen, welche die „Vermittlung" der Restitution herbeiführen. Restitution kann erfolgen, wenn gar nichts genommen, sondern nur etwas teilweise aus dem Verbande abgetrennt war, und in anderen Fällen genügt die Außerfunktionssetzung eines Organteiles (Eingipsung von Pflanzenteilen, *Goebel* und *Winkler*), um seine Restitution auszulösen. Das alles weist darauf hin, daß das Entnommene oder Abgetrennte eben wegen seiner Spezifizität zugleich der spezifische Reiz der Restitution ist. Man kann sich hypothetisch vorstellen, daß jedes Organ nach Art „innerer Sekretion" zur Zusammensetzung der Säfte sein entsprechendes Teil beisteuert und daß eben die durch das Fehlen eines Bestandteiles geänderte Zusammensetzung der Säfte in ihrer jedesmaligen Besonderheit den Restitutionsreiz abgibt. Die Reaktionsfähigkeit auf diesen Reiz, d. h. restitutive nicht fixierte Potenzen, müssen natürlich dazu kommen.

Durch diese Hypothese wird der Restitutionsreiz auf einen biochemischen Vorgang zurückgeführt. Dasselbe hatte schon *J. Loeb* für den

Entwicklungsreiz getan. Die Analogie zwischen Entwicklungsreiz und Restitutionsreiz besteht nach *E. Godlewski jr.* in der Transformation des Protoplasmas zu Kernsubstanz, die nach *J. Loeb* bei der Entwicklung durch gewisse Oxydasen veranlaßt wird.

Überblickt man die hier mitgeteilten Theorien der Regeneration, so wird man sagen müssen, daß sie alle geeignet sind, einen Faktor oder auch einige Faktoren, die bei den Vorgängen der Restitution wirksam sind, zu erklären, daß aber bei allen ein unerklärter Rest bleibt, zu dessen Deutung wir auf Vermutungen und Hypothesen angewiesen sind. Ich selber habe wiederholt (1905) darauf hingewiesen, daß ich die von *W. Roux* gegebene Erklärung des Regenerationsproblems für die den Beobachtungen am besten entsprechende halte. Danach haben wir anzunehmen, „daß bei den regenerationsfähigen Lebewesen durch eine Störung des „entwickelten" Individuums gestaltende Wirkungen in dem Reservekeimplasma der entwickelten oder der noch indifferenten Zellen geweckt werden, welche zur Wiederherstellung des entwickelten Ganzen führen" (*W. Roux*, Vorträge etc., 1905, S. 82—83; Ges. Abh., II, S. 812, 897).

## Literatur.

Da die Literatur über Regeneration und die ihr verwandten Erscheinungen ungeheuer groß ist, habe ich nur eine Auswahl der einschlägigen Arbeiten angeben können, die ich der leichteren Übersicht wegen in alphabetischer Ordnung liefere. Die in meiner Arbeit angezogenen Schriften sind durch Zufügung der Jahreszahl zu dem Namen des Autors kenntlich gemacht.

*Abderhalden Emil,* Neuere Anschauungen über den Bau und den Stoffwechsel der Zelle. Vortrag aus den Verhandl. der Schweiz. naturf. Gesellsch. an der Jahresversammlung 1911 in Solothurn. Genève 1911.

Derselbe, Die Bedeutung der Verdauung für den Zellstoffwechsel im Lichte neuer Forschungen auf dem Gebiete der physiologischen Chemie. Vortrag. Berlin und Wien 1911.

Derselbe, Lehrbuch der physiologischen Chemie in 30 Vorlesungen. Berlin und Wien 1906. (Die mittlerweile erschienene zweite Auflage stand mir nicht zur Verfügung.)

*Aschoff Ludwig,* Regeneration und Hypertrophie. Ergebnisse der allgemeinen pathologischen Morphologie und Physiologie des Menschen und der Tiere. Wiesbaden 1895.

*Axhausen G.,* Die histologischen und klinischen Gesetze der freien Osteoplastik auf Grund von Tierversuchen. Mit 4 Taf. Arch. f. klin. Chir., 88. Bd., 1909.

*Balbiani E.,* Nouvelles recherches expérimentales sur la mérotomie des infusoires. 1. Ann. de micrographie, Bd. 4, 1892

*Bard L.,* La spécificité cellulaire. Scientia. Biologie, Nr. 1.

*Bardeen C. R.,* On the Physiology of the Planaria maculata, with especial Reference to the Phenomena of Regeneration. Amer. Journ. Physiol., Bd. 5, 1901.

*Barfurth D.,* Über den Bau und die Tätigkeit der Gasteropodenleber. Arch. f. mikrosk. Anat., Bd. 22, 1883. (Schalenregeneration S. 512).

Derselbe, Die Erscheinungen der Regeneration bei Wirbeltierembryonen. *O. Hertwigs* Handbuch der Entwicklungslehre, III, 3. Jena, Fischer, 1903.

Derselbe, Das Regenerationsvermögen der Krystalle und der Organismen. Biophysik. Zentralbl., Bd. 1, 1906.

Derselbe, Regeneration und Transplantation in der Medizin. Sammlung anatomischer und physiologischer Vorträge und Aufsätze von *Gaupp* und *Nagel*, 10. H. Jena 1910.
Derselbe, Versuche zur funktionellen Anpassung. Arch. f. mikr. Anat., Bd. 37, 1891.
Derselbe, Zur Regeneration der Gewebe. Ebenda.
Derselbe, Die experimentelle Regeneration überschüssiger Gliedmaßenteile bei den Amphibien. Arch. f. Entwickl.-Mech., Bd. 1, 1894.
Derselbe, Die experimentelle Herstellung der Cauda bifida bei den Amphibienlarven. Arch. f. Entwickl.-Mech., Bd. 9, 1899.
Derselbe, Experimentelle Untersuchung über die Regeneration der Keimblätter bei den Amphibien. Anat. Hefte, Bd. 9, 1893.
Derselbe, Regeneration und Involution. Ergebnisse der Anatomie und Entwicklungsgeschichte *(Merkel* und *Bonnet)*. Wiesbaden 1892—1912.
*Barth A.*, Histologische Untersuchungen über Knochenimplantationen. *Ziegler*s Beiträge, Bd. 17, 1895.
Derselbe, Über Osteoplastik. Arch. f. klin. Chir., Bd. 86, 1908.
*Bateson William*, Materials for the Study of Variation. London, Macmillan, 1894.
*Baur Erwin*, Pfropfbastarde. Biol. Zentralbl., 1910, S. 497 ff.
*Beigel C.*, Zur Regeneration des Kiemendeckels und der Flossen der Teleostier. Extrait du Bulletin de L'Académie des Sciences de Cracovie. Juillet 1910.
*Bethe A.*, Ein Carcinus maenas (Taschenkrebs) mit einem rechten Schreitbein an der linken Seite des Abdomens. Ein Beitrag zur Vererbungstheorie. Arch. f. Entwickl.-Mech., Bd. III, 1896.
Derselbe, Über die Regeneration peripherischer Nerven. Arch. f. Psych., Bd. 34, 1902.
Derselbe, Allgemeine Anatomie und Physiologie des Nervensystems. Leipzig 1903.
*Blumenbach J. F.*, Specimen physiologiae comparatae inter animantia calidi et frigidi sanguinis; in Comment. soc. reg. scient. Gotting., T. 8, 1787.
*Blunck Hans*, Regenerationsversuche an Dytiscus marginalis. Zool. Anz., 34. Bd., 1909, S. 172—180.
*Biedermann W.*, Die Aufnahme, Verarbeitung und Assimilation der Nahrung. Handbuch der vergleichenden Physiologie, herausgegeben von *Hans Winterstein*. Jena, Gustav Fischer, 1910 ff.
*Bonnet Ch.*, Oeuvres d'histoire naturelle et de philosophie. T. V., pag. 294. Neuchâtel 1781.
*Bordage Edm.*, Recherches anatomiques et biologiques sur l'autotomie et la régénération chez divers arthropodes. Bulletin Scientifique de la France et de la Belgique. Paris 1905.
*Born G.*, Über Verwachsungsversuche mit Amphibienlarven. Arch. f. Entwickl.-Mech., Bd. 4, 1897.
*Borst* und *Enderlen*, Über Transplantation von Gefäßen und ganzen Organen. Deutsche Zeitschr. f. Chir., Bd. 99, H. 1 u. 2, 1909.
*Boveri Th.*, Über die Polarität des Seeigeleies. Verh. d. phys.-med. Ges. zu Würzburg, Bd. 34, 1901.
Derselbe, Die Polarität von Ovocyte, Ei und Larve von Strongylocentrotus lividus. Zool. Jahrb., Abt. f. Anat. u. Ontog., Bd. 14, 1901.
*Brachet A.* et *Benoit F.*, Sur la régénération du cristallin chez les amphibiens urodèles. Bibliogr. anatomique, 1899.
*Brachet A.*, Recherches expérimentales sur l'oeuf non segmenté de Rana fusca. Arch. f. Entwickl.-Mech., 22. Bd., 1906.
*v. Bramann*, Über Schilddrüsenimplantation bei Myxödem und Kretinismus. Deutsche med. Wochenschr., Nr. 40, 1909.
*Braus H.*, Imitation im Knochensystem, auf Grund embryonaler Transplantation. Verhandlungen d. Gesellsch. deutscher Naturforscher und Ärzte, 80. Versamml., Köln 1908, Teil 2, Hälfte 2, S. 516—517.
Derselbe, Versuch einer experimentellen Morphologie. Münchener med. Wochenschr., 1903.

Derselbe, Einige Ergebnisse der Transplantation bei Bombinatorlarven. Verh. anat. Ges., Jena 1904.

Derselbe, Experimentelle Beiträge zur Frage nach der Entwicklung peripherer Nerven. Anat. Anz., Bd. 26, 1905.

Derselbe, Experimentelle Beiträge zur Morphologie. Bd. 1. Leipzig 1906—1909.

Derselbe, Pfropfung bei Tieren. Verhandl. d. naturhistorisch-med. Vereines zu Heidelberg, N. F., Bd. 8, H. 5, 1907.

*Broussonet*, Observations sur la régénération de quelques parties du corps des Poissons. Hist. de l'Acad. Roy. des Sciences, 1786.

*Buchmann P.*, Behandlung knöcherner Ellbogengelenksankylosen mittelst Überpflanzung von ganzen Gelenken. Zentralbl. f. Chir., Nr. 19, Mai 1908.

*Buguet A.*, Régénérations osseuses, suivies à l'aide de la radiographie. C. R. Acad. Sc., Paris, T. 129, 1899.

*Büngner O. v.*, Über Degenerations- und Regenerationsvorgänge am Nerven nach Verletzungen. Beitr. path. Anat. u. allg. Path., Bd. 10, 1891.

*Busachi Th.*, Über die Neubildung von glattem Muskelgewebe (Hypertrophie und Hyperplasie, Regeneration, Neoplasie). Beitr. path. Anat. u. allg. Path., Bd. 4, 1888.

*Byrnes E. F.*, On the Regeneration of Limbs in Frogs after the Exstirpation of Limb-Rudiments. Anat. Anz., Bd. 15, 1898.

*Carlgren O.*, Studien über Regenerations- und Regulationserscheinungen. Kongl. Svenska Vetenskaps-Akad. Handlingar. Bd. 37, 43, 44, 1904, 1909.

*Carnot Paul*, Les régénérations d'Organes. Paris 1899.

*Carraro A.*, Über Schilddrüsenüberpflanzungen in verschiedene Organe. Deutsche Zeitschrift f. Chir., 1909, Bd. 97, H. 3/4.

Derselbe, Über heteroplastische Verpflanzungen. Frankfurter Zeitschr. f. Pathol., III, S. 382—392.

Derselbe, Über Regeneration der Speicheldrüsen. Frankfurter Zeitschr. f. Pathol., III, 1, 1909, S. 26—37.

*Carraro A.* und *Kuznitzky E.*, Über die Regeneration der Nebennieren. Berliner klin. Wochenschr., Jahrg. 46, Bd. 2, S. 1884, 1909.

*Carrel A.*, Resultate der Transplantation von Blutgefäßen, Organen und Gliedern. I, Am. M. Ass., Chicago, Nr. 20.

*Carrière J.*, Studien über die Regenerationserscheinungen bei den Wirbellosen. I. Würzburg 1880.

*Chabry L.*, Contribution à l'embryologie normale et tératologique des ascidies simples. Journ. anat. et phys., Bd. 23, 1887.

*Child C. M.*, Functional Regulation and Regeneration in Cestoplana. Arch. f. Entwickl.-Mech., Bd. 19, 1905.

Derselbe, Experimental control of certain regulatory processes in Harenactis attenuata. Biolog. Bull., XVI, pag. 47—53, 1909.

Derselbe, Factors of form regulation in Harenactis attenuata. I. Wound Reaction and Restitution in General and the Regional Factors in Oral Restitution. Journ. of Exper. Zool., Vol. VI, Nr. 4.

Derselbe, Factors of form regulation in Harenactis attenuata. III. Regulation in „Rings". Journ. of Exper. Zool., VII. Bd., 1909, S. 353.

Derselbe, Form Regulation in Cerianthus. 9 Aufsätze in Biol. Bull., Bd. 5—8, 1903 bis 1905.

*Child* and *Young*, Regeneration of the Appendages in Nymphs of the Agrionidae. Arch. f. Entwickl.-Mech., Bd. 15, 1903.

*Christiani M. H.*, Nouvelles expériences de greffe thyroidienne chez les mammifères. Journ. de Physiol. et de Pathol. générale, Vol. 3, 1901.

*Christiani H.* et *A.*, De la greffe des capsules surrénales. Journ. de Physiol. et de Pathol. générale, Vol. 4, 1902.

*Chun C.*, Die Ctenophoren des Golfes von Neapel. Fauna und Flora des Golfes von Neapel. I, Monographie. Leipzig 1880.

Derselbe, Über Postgeneration bei Ctenophoren. Briefliche Mitteilungen an *W. Roux*. Referat von *W. Roux* auf dem Anatomenkongreß in Wien, 1892.

Derselbe, Bemerkungen über den Aufsatz von *H. Driesch* und *T. H. Morgan* „Von der Entwicklung einzelner Ctenophorenblastomeren". Arch. f. Entwickl.-Mech., Bd. 2, 1895.

*Cipollina A.*, Experimentaluntersuchungen über die partielle Regeneration des Pankreas. Riforma med., 1899.

*Clairmont*, Über Transplantation der Hypophyse in die Milz bei Versuchstieren. Verh. d. Deutschen Ges. f. Chir., 38. Kongreß 1909.

*Colucci V. L.*, Sulla rigenerazione parciale dell' occhio nei Tritoni. Memoria della R. Accad. de scienze, Ser. 5, Vol. 1. Bologna 1890.

*Conclin E. G.*, Mosaic Development in Ascidian Eggs. The Journal of Experim. Zool., Bd. 2, 1905.

*Cornu F.*, Die flüssigen Krystalle und ihre Beziehungen zur lebendigen Substanz. Zeitschrift f. d. Ausbau d. Entwicklungslehre, 1909, Bd. 3, H. 7.

*Cramer M.*, Beiträge zur Kenntnis der Polydaktylie und Syndaktylie beim Menschen und einigen Haustieren. Abh. d. Kaiserl. Leop.-Carol. Deutsch. Akademie d. Naturforscher, Bd. XCIII. Halle 1910.

Derselbe, Transplantation von Ovarien. XIII. Kongreß d. Deutschen Ges. f. Gynäkol., 1909.

*Crampton H. E.*, Experimental Studies on Gasteropod Development. Arch. f. Entwickl.-Mech., Bd. 3, 1896.

Derselbe, The Ascidian Half-Embryo. New York Acad. of Science, Bd. 10, 1897.

*Daniel L.*, La greffe mixte. C. r. hebd. des s. de l'acad. des sciences, Bd. 125. Paris 1897.

*Danilewsky B.*, Über die Regeneration der Großhirnhemisphären beim Frosch. Verh. X. intern. med. Kongreß, Bd. 2. Berlin 1890.

*Davenport C. B.*, Stud. in Morphogen. II. Regeneration in Obelia. Anat. Anz., Bd. 9.

*Dawydoff C.*, Beobachtungen über den Regenerationsprozeß bei den Enteropneusten. Zeitschr. f. wiss. Zool., 93. Bd., 1909, S. 237.

Derselbe, Restitution von Kopfstücken, die vor der Mundöffnung abgeschnitten waren, bei den Nemertinen (Lineus lacteus). Zool. Anz., Bd. 36, 1910.

*Driesch H.*, Entwicklungsmechanisches. Anat. Anz., Bd. 7, 1892.

Derselbe, Entwicklungsmechanische Studien. I. Mitt. Zeitschr. f. wiss. Zool., Bd. 53, 1892; II. Mitt. Ebenda; III.—VI. Mitt. Ebenda, Bd. 55, 1892; VII.—X. Mitt. Mitt. Zool. Stat. Neapel, 11, 1893.

Derselbe, Kritische Erörterungen. II. Zur Heteromorphose der Hydroidpolypen. Biol. Zentralbl., Bd. 12, 1892.

Derselbe, Die Organisation des Eies und ihre Genese. Arch. f. Entwickl.-Mech., Bd. 4, 1896.

Derselbe, Über einige primäre und sekundäre Regulationen in der Entwicklung der Echinodermen. Ebenda.

Derselbe, Zur Analyse der Reparationsbedingungen der Tubularia. Vierteljahrschr. d. Nat. Ges. Zürich, Bd. 91, 1896.

Derselbe, Studien über das Regulationsvermögen der Organismen. I. Von den regulativen Wachstums- und Differenzierungsfähigkeiten der Tubularia. Arch. f. Entwicklungs-Mech., 5. Bd., 1897.

Derselbe, Studien über das Regulationsvermögen der Organismen. II. Quantitative Regulationen bei der Reparation der Tubularia. Arch. f. Entwickl.-Mech., Bd. 9, 1899.

Derselbe, Die Lokalisation morphogenetischer Vorgänge. Arch. f. Entwickl.-Mech., Bd. 8, 1899.

Derselbe, Studien über das Regulationsvermögen der Organismen. IV. Die Verschmelzung der Individualität bei Echinidenkeimen. Arch. f. Entwickl.-Mech., Bd. 10, 1900.

Derselbe, Studien über das Regulationsvermögen der Organismen. Die Restitutionen der Clavellina lepadiformis. Arch. f. Entwickl.-Mech., Bd. 14, 1902.

Derselbe, Resultate und Probleme der Entwicklungsphysiologie. Ergebn. d. Anat. u. Entwickl., Bd. 8, 1899.

Derselbe, Die organischen Regulationen. Leipzig, Engelmann, 1901.
Derselbe, Neue Antworten und neue Fragen der Entwicklungsphysiologie. Ergebn. d. Anat. u. Entwickl., Bd. 11, 1901, S. 945.
Derselbe, Die Entwicklungsphysiologie von 1902—1905. Ergebnisse der Anatomie und Entwicklungsgeschichte von *Merkel* und *Bonnet*. Bd. 14, 1904. Wiesbaden 1905.
Derselbe, Die Entwicklungsphysiologie 1905—1908. Ebenda, Bd. 17, 1907.
Derselbe, Kritisches und Polemisches. Biol. Zentralbl., 1902, S. 459.
Derselbe, Neue Ergänzungen zur Entwicklungsphysiologie des Echinidenkeimes. Arch. f. Entwickl.-Mech., Bd. 14, 1902.
Derselbe, Über Änderungen der Regulationsfähigkeiten im Verlauf der Entwicklung bei Ascidien. Arch. f. Entwickl.-Mech., Bd. 17, 1903.
Derselbe, Die „Seele" als elementarer Naturfaktor. Leipzig 1903.
Derselbe, Naturbegriffe und Natururteile. Analytische Untersuchungen zur reinen und empirischen Naturwissenschaft. Leipzig 1904.
Derselbe, Der Vitalismus als Geschichte und als Lehre. Leipzig 1905.
Derselbe, Das System der Biologie. Süddeutsche Monatshefte, II. Jahrg., 1905, H. 6.
Derselbe, Bemerkungen zu *Przibrams* Krystallanalogien. Arch. f. Entwickl.-Mech., Bd. 23, H. 1, 1907.
Derselbe, Der Restitutionsreiz. Rede zur Eröffnung der Sektion für experimentelle Zoologie des 7. internationalen Zoologenkongresses zu Boston. Vorträge und Aufsätze über Entwicklungsmechanik, herausgegeben von *W. Roux*, H. VII. Leipzig 1909.
Derselbe, Philosophie des Organischen. *Gifford*-Vorlesungen, gehalten an der Universität Aberdeen in den Jahren 1907—1908. 2. Bd. Leipzig 1909.
Derselbe, Neue Versuche über die Entwicklung verschmolzener Echinidenkeime. Arch. f. Entwickl.-Mech., 1910, Bd. 30, S. 8.
*Dürken Bernhard*, Über frühzeitige Exstirpation von Extremitätenanlagen beim Frosch. Ein experimenteller Beitrag zur Entwicklungsphysiologie und Morphologie der Wirbelsäule unter besonderer Berücksichtigung des Nervensystems. Zeitschr. f. wiss. Zool., Bd. 99, H. 2, 1911.
*Durbin M. L.*, In Analysis of the Rate of Regeneration throughout the Regenerative Process. Journ. of Exper. Zool., VII. Vol., 1909, pag. 397.
*van Duyne J.*, Über Heteromorphose bei Planarien. *Pflügers* Archiv, Bd. 64, 1896.
*Endres H.*, Anstichversuche an Eiern von Rana fusca. I. Beobachtungen v. *H. Endres* u. *H. E. Walter*. Arch. f. Entwickl.-Mech., Bd. II, 1895. II. Ergänzungen durch Anstichversuche an Eiern von Rana esculenta sowie theoretische Folgerungen aus beiden Versuchsreihen. Ebenda, Bd. II, 1895.
Derselbe, Über Anstich- und Schnürversuche an Eiern von Triton taeniatus. Jahresbericht Schles. Ges. vaterl. Kultur. Zool.-bot. Sekt. Breslau 1895.
*Falkenberg P.*, Die Rhodomelaceen des Golfes von Neapel, herausgegeben von der Zool. Station, XXV, 1901.
*Fáy Kizs* und *Minerrini*, Über Regeneration mit Neubildung von Gefäßen und Haut. XVI. intern. medizinischer Kongreß in Budapest vom 4. August bis 29. September 1909.
*Figdor W.*, Über Restitutionserscheinungen bei Dasycladus clavaeformis. Ber. d. Deutschen Bot. Ges., Bd. 28, S. 224—227.
*Fischel A.*, Experimentelle Untersuchungen am Ctenophorenei. I. Arch. f. Entwickl.-Mech., Bd. 6, 1898; II, III, IV, Ebenda, Bd. 7, 1898.
Derselbe, Über die Regeneration der Linse. Anat. Hefte, Bd. XI, 1900.
Derselbe, Weitere Mitteilungen über die Regeneration der Linse. Arch. f. Entwickl.-Mech., Bd. 15, 1902.
Derselbe, Entwicklung und Organdifferenzierung. Arch. f. Entwickl.-Mech., Bd. 15, 1903.
Derselbe, Über den gegenwärtigen Stand der experimentellen Teratologie. Verhandl. Deutsche path. Ges., 1902.

*Fischer H.,* Über Regeneration und Transplantation des Pankreas von Amphibien. Aus dem biologischen Laboratorium der Universität Bonn. Arch. f. mikr. Anat., Bd. 77, 1911.
*Forssmann J.,* Über die Ursachen, welche die Wachstumsrichtung der peripheren Nerven bei der Regeneration bestimmen. Beitr. path. Anat., Bd. 24, 1898.
*Fraisse P.,* Die Regeneration von Geweben und Organen bei den Wirbeltieren. Kassel und Berlin 1885.
*Frangenheim Paul,* Dauererfolge der Osteoplastik im Tierversuch. Arch. f. klin. Chir., Bd. 93, 1910.
*Frank B.,* Die Pflanzenkrankheiten in *A. Schenks* Handb. d. Botanik, Bd. 1. Breslau 1879.
*Frazer Oren E.,* The Effect of Electrical Stimulation upon the Rate of Regeneration in Rana pipiens and Amblystoma jeffersonianum. Journ. of Exper. Zool., Vol. VII, pag. 457, 1909.
*Freundlich H. F.,* Entwicklung und Regeneration von Gefäßbündeln in Blattgebilden. Jahrb. f. wiss. Bot., 1908, Bd. 46, S. 137.
*Friedländer B.,* Über die Regeneration herausgeschnittener Teile des Zentralnervensystems von Regenwürmern. Zeitschr. f. wiss. Zool., Bd. 60, 1895.
*Friedrich P.,* Regeneration der Beine und Autotomie bei Spinnen. Arch. f. Entwickl.-Mech., Bd. 20, 1906.
*Frischholz E.,* Zur Biologie von Hydra. Biol. Zentralbl., 29. Bd., 1909, S. 182.
*Fritsch C.,* Experimentelle Studien über Regenerationsvorgänge des Gliedmaßenskeletts bei Amphibien. Zool. Jahrb., Bd. 30, H. 3. Jena 1911.
*Fuckel Fr.,* Über die Regeneration der Glandula submaxillaris und infraorbitalis beim Kaninchen. Diss. Freiburg 1896.
*Garrè C.,* Über Gefäß- und Organtransplantationen. Deutsche med. Wochenschr., Nr. 40, 1904.
*Giard M. A.,* Polydactylie provoquée chez Pleurodeles Waltlii Michahelles. Comptes rendus hebd. Soc. Biol. Paris 1895.
*Glückselig M. Ch.,* Einige Beobachtungen über das Leben der Eidechsen. Verhandl. d. k. k. zool.-bot. Ges. in Wien, Jahrg. 1863, Bd. 13. Wien 1863.
*Godelmann R.,* Beiträge zur Kenntnis von Bacillus Rossii Fabr. mit besonderer Berücksichtigung der bei ihm vorkommenden Autotomie und Regeneration einzelner Gliedmaßen. Arch. f. Entwickl.-Mech., Bd. 12, 1901.
*Godlewski E.,* Versuche über den Einfluß des Nervensystems auf die Regenerationserscheinungen der Molche. Bull. Intern. Akad. Sc. Cracovie 1904.
*Godlewski Emil jun.,* Plasma und Kernsubstanz im Epithelgewebe bei der Regeneration der Amphibien. (Beitrag zur Analyse der Regenerationserscheinungen.) Arch. f. Entwickl.-Mech., Bd. $30^2$, 1910, S. 81.
*Goebel K.,* Organographie der Pflanzen. I. Jena 1898.
Derselbe, Über Regeneration im Pflanzenreich. Zentralbl. f. Biol., Bd. 22, 1902.
Derselbe, Allgemeine Regenerationsprobleme. Vortrag auf dem intern. Botanikerkongreß in Wien 1905. Flora oder Allg. bot. Zeit., Ergänzungsband 1905.
Derselbe, Einleitung in die experimentelle Morphologie der Pflanzen. 1908.
*Goette A.,* Über Entwicklung und Regeneration des Gliedmaßenskeletts der Molche. Leipzig 1879.
*Goldfarb A. F.,* Light as a factor in the Regeneration of Hydroids. Journ. of exper. Zool., Vol. 8, Nr. 2, pag. 133—142.
*Gräfenberg Ernst,* Die Muskulatur in Extremitätenmißbildungen. Anat. Hefte, H. 126, Oktober 1910.
*Gräper Ludwig,* Über eine dreischwänzige Eidechse mit sieben Schwanzskeletten. Arch. f. Entwickl.-Mech. d. Organ., Bd. 27, H. 4, S. 640—652.
*Gravier Ch.,* Sur la régénération de la partie antérieure du corps chez le Chétoptère. Compt. rend., Tom. 148, pag. 365—367, 1908.
*Griffini L.,* Sur la régénération partielle du foie. Arch. ital. de biol., Vol. 5, 1884.
*Guthrie,* Transplantation von Organen. Journ. of Americ. Assoc, 1910. Deutsche med. Wochenschr., 1910, S. 723.

*Haase H.*, Über Regenerationsvorgänge bei Tubifex rivulorum. Zeitschr. f. wiss. Zool., Bd. 65, 1898.

*Hackenbruch P.*, Experimentelle und histologische Untersuchungen über die kompensatorische Hypertrophie der Testikel. Diss. Bonn 1888.

*Hansemann D. v.*, Studien über die Spezifizität, den Altruismus und die Anaplasie der Zellen. Berlin 1893.

*Hargitt C. W.*, Recent Experiments on Regeneration. Zool. Bull. Bd. 1, 1897.

*Harms W.*, Über funktionelle Anpassung bei Regenerationsvorgängen. Regeneration des Schwanzes bei jungen und erwachsenen Urodelen und den Larven von Anuren. *Pflügers* Arch., Bd. 132, 1910.

Derselbe, Über Degeneration und Regeneration der Daumenschwielen und -drüsen bei Rana fusca. (Aus d. biol. Labor. in Bonn.) *Pflügers* Archiv., Bd. 128, 1909.

Derselbe, Versuche über Beschleunigung der Regeneration durch aktive Bewegung. Zool. Anz. 34. Bd., 1909, S. 374—379.

Derselbe, Über Ovarialtransplantationen bei Regenwürmern, eine Methode zur Bastardierung. Zool. Anz., Bd. 36, 1910.

*Harrison, Ross G.*, The Growth and Regeneration of the Tail of the Frog Larva. Arch. f. Entwickl.-Mech., Bd. 7, 1898.

Derselbe, Embryonic Transplantation and Development of the nervous System. The Anatomical Record, Bd. 2, Nr. 9, Dezember 1908.

Derselbe, The Outgrowth of the Nerve Fiber as a Mode of protoplasmic movement. Journ. of exper. Zool., Vol. 9, 1910.

*Hazen A. P.*, The Regeneration of a Head instead of a Tail in an Earthworm. Anat. Anz., Bd. 16, 1899.

*Henneberg B.*, Über Schwanzautotomie bei Säugern. Med. Naturw. Arch., 1909, Bd. 2, H. 2. Vgl. diesen Bericht, 1908, S. 291 u. S. 325.

*Herbst C.*, Über die Bedeutung der Reizphysiologie für die kausale Auffassung der Ontogenese. II. Hauptteil: Die formativen Reize. Teil 1, Biol. Centralbl., Bd. 15, 1895.

Derselbe, Formative Reize in der tierischen Ontogenese. Leipzig 1901.

Derselbe, Über die zur Entwicklung der Seeigellarven notwendigen anorganischen Stoffe, ihre Rolle und ihre Vertretbarkeit. III. Teil: Die Rolle der notwendigen anorganischen Stoffe. Archiv f. Entwickl.-Mech., Bd. 14, 1904.

Derselbe, Experimentelle Untersuchungen über den Einfluß der veränderten chemischen Zusammensetzung etc. I. u. III. Zeitschr. f. wiss. Zool., Bd. 55, 1892 und Arch. Entwickl.-Mech., Bd. 2, 1896.

Derselbe, Experimentelle Untersuchungen etc. II. Weiteres über die morphologische Wirkung der Lithiumsalze. Mitt. Station Neapel, Bd. 11, 1893.

Derselbe, Über die Regeneration von antennenähnlichen Organen an Stelle von Augen. VI. Die Bewegungsreaktionen, welche durch Reizung der heteromorphen Antennulae ausgelöst werden. Arch. f. Entwickl.-Mech., Bd. $30^2$, 1910, S. 1.

Derselbe, Über die Regeneration von antennenähnlichen Organen an Stelle von Augen. III. u. IV. Arch. f. Entwickl.-Mech., Bd. 9, 1899. V. Ebenda, Bd. 13, 1901.

Derselbe, Über die Regeneration von antennenähnlichen Organen an Stelle von Augen. I. Arch. f. Entwickl.-Mech., Bd. 2, 1896. II. Ebenda, Bd. 9, 1899.

*Hertwig O.*, Experimentelle Untersuchungen über die ersten Teilungen des Froscheies und ihre Beziehungen zu der Organbildung des Embryo. Sitzungsber. Akad. Wiss. Berlin; phys.-math. Kl., Bd. 24, S. 385, 1893.

Derselbe, Neuere Experimente über das Regenerations- und Gestaltungsvermögen der Organismen. Berliner klin. Wochenschr., Bd. 31, 1894.

Derselbe, Über den Wert der ersten Furchungszellen für die Organbildung des Embryo. Arch. mikr. Anat., Bd. 42, 1903.

Derselbe, Handbuch der vergleichenden und experimentellen Entwicklungslehre, Bd. 1, Kap. 4. Jena 1901.

Derselbe, Zeit- und Streitfragen der Biologie. H. 1: Präformation oder Epigenese. Jena 1894. H. 2: Mechanik und Biologie, 1897.

Derselbe, Die Radiumstrahlung in ihrer Wirkung auf die Entwicklung tierischer Eier. I. u. II. Mitt. Sitzungsber. Akad. Wiss. Berlin 1910. Ref. v. *Krause* im Centralbl. f. Anat., Bd. 7, 1910, S. 349.

Derselbe, Allgemeine Biologie, 3. Auflage. Jena 1910.

*Hertwig R. v.*, Über kausale Erklärung der tierischen Organisation. Rektoratsrede, geh. am 26. November 1910. München.

*Hirschler J.*, Über die Regenerationsfähigkeit der Blutegel. Sitzungsber. v. X. Kongreß Poln. Ärzte, 1907.

*His W.*, Unsere Körperform und das physiologische Problem ihrer Entstehung, 1874.

*Holmes S. J.*, The Problem of Form Regulation. Arch. f. Entwickl.-Mech., Bd. 17, 1904.

*Hübner Hans*, Die Doppelbildungen des Menschen und der Tiere. Mit einem Vorwort von E. Schwalbe. Aus dem pathologischen Institut zu Rostock. Ergebnisse der allgemeinen Pathologie und pathologischen Anatomie etc. XV. Jahrg. 1911.

*Jaccard P.*, Wundholzbildung im Mark von Picea excelsa. Ber. d. Deutschen Bot. Ges., 28. Jahrg. 1910.

*Janda Victor*, Über die Regenerationsvorgänge bei den Arthropoden. 1. Teil: Asellus Aquaticus, 1908. 2. Teil: Odonata. Prag 1910.

*Joest E.*, Transplantationsversuche an Regenwürmern. Arch. f. Entwickl.-Mech., Bd. 5, 1897.

*Jores L.*, Über den Einfluß funktionellen Reizes auf die Transplantation von Muskelgeweben. Verh. d. Deutschen path. Ges. Leipzig 1909. (Centralbl. f. norm. Anat. 1909, S. 355.)

*Kammerer Paul*, Über die Abhängigkeit des Regenerationsvermögens der Amphibienlarven von Alter, Entwicklungsstadium und spezifischer Größe. Experimentelle Studie. Archiv f. Entwickl.-Mech., Bd. 19, H. 2, 1905.

Derselbe, Die angeblichen Ausnahmen von der Regenerationsfähigkeit bei Amphibien. Verh. d. morph.-physiol. Ges. zu Wien. Centralbl. f. Physiol., Bd. 19, 1906.

*Kaufmann-Wolf, Marie*, Embryologische und anatomische Beiträge zur Hyperdaktylie *(Houdanhuhn)*. Experim. Beitr. z. Morphologie *(H. Braus)*, 1906, Bd. 1, H. 3, S. 223.

*Kausch W.*, Über Knochenimplantation. Verh. d. Deutsch. Ges. f. Chir. 38. Kongreß. 1909.

Derselbe, Über Knochenersatz. Beiträge zur Transplantation des toten Knochens. Beitr. z. klin. Chir., Bd. 68, 1910.

*Kayser F.*, Zur Frage der Transplantation der Ovarien beim Menschen. Berliner klin. Wochenschr., 1910. Nr. 24. Ref. v. *Wegelien* im Zentralbl. f. allg. Pathol. u. pathol. Anat., Bd. 21, 1910, S. 789.

*Kennel J.*, Über Teilung und Knospung der Tiere. Dorpat 1882.

*Kiersnowski A.*, Zur Regeneration des Uterusepithels nach der Geburt. Anat. Hefte, Bd. 13, 1894.

*King H. D.*, Regeneration in Asterias vulgaris. Arch. f. Entwickl.-Mech., Bd. 7, 1898 u. Bd. 9, 1900.

*Kirby E.*, Experimentelle Untersuchungen über die Regeneration des quergestreiften Muskelgewebes. Beitr. z. path. Anat. u. allg. Path., Bd. 11.

*Klebs E.*, Die Regeneration des Plattenepithels. Arch. experim. Path., Bd. 3.

*Klebs G.*, Willkürliche Entwicklungsänderungen bei Pflanzen. Jena 1903. (Abschnitt über Regeneration.)

*Klemm P.*, Über die Regenerationsvorgänge bei den Siphonaceen. Flora, 1894.

*Kochs W.*, Versuche über die Regeneration von Organen bei Amphibien. Arch. mikr. Anat., Bd. 49, 1894.

*Kohn A.*, Über innere Sekretion. Prager med. Wochenschr., Bd. 25, 1900.

Derselbe, Innere Sekretion und Organtherapie. Prager med. Wochenschr., Bd. 35, Nr. 36, 1910.

*Kolster R.*, Zur Kenntnis der Regeneration durchschnittener Nerven. Arch. mikr. Anat., Bd. 41, 1893.

*Kopec St.*, Über morphologische und histologische Folgen der Kastration und Transplantation bei Schmetterlingen. Extrait du Bull. de l'Acad. des Sciences de Cracovie. Cracovie 1910.

Derselbe, Untersuchungen über Kastration und Transplantation bei Schmetterlingen. Arch. f. Entwickl.-Mech., 33. Bd., 1911.

*Kopsch Fr.*, Experimentelle Untersuchungen über den Keimhautrand der Salmoniden. Verh. d. anat. Ges., Berlin 1896.

Derselbe, Experimentelle Untersuchungen am Primitivstreifen des Hühnchens und an Scyllium-Embryonen. Verh. d. anat. Ges., Kiel 1898.

Derselbe, Die Organisation der Hemididymi und Anadidymi der Knochenfische etc. Zugleich ein Beitrag zur Differenzierungsfähigkeit embryonaler Zellen. Intern. Monatsschr., Bd. 16, 1899.

*Korschelt E.*, Über das Regenerationsvermögen der Regenwürmer. Sitzungsber. d. Ges. f. Naturw., Marburg 1897.

Derselbe, Regeneration und Transplantation. Jena 1907.

Derselbe, Regeneration und Transplantation im Tierreich. Vortrag in der Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte. Stuttgart 1906.

Derselbe, Beeinflussung der Komponenten bei Transplantation. Mediz.-naturwissensch. Arch., Bd. 1, H. 3, 15. April 1908.

Derselbe, Zum Schalenersatz bei Landschnecken. Arch. f. Entwickl.-Mech., Bd. 30, T. 2, 1910.

*Krapfenbauer*, Einwirkung der Existenzbedingungen auf die Fortpflanzung von Hydra. Inaug.-Dissert. der phil. Fakultät in München. 1908.

*Küster E.*, Pathologische Pflanzenanatomie. Jena 1903.

Derselbe, Aufgaben und Ergebnisse der entwicklungsmechanischen Pflanzenanatomie. Progressus rei botanicae, Bd. III, 1908.

*Laqueur E.*, Über Teilbildungen aus dem Froschei und ihre Postgeneration. Arch. f. Entwickl.-Mech., 28. Bd., 1909, S. 327.

Derselbe, Künstliche Hervorbringung von Halbbildungen aus dem Froschei und deren Postgeneration. Schrift d. Physik.-ökonom. Ges. zu Königsberg, L. Jahrg. III, 1909, S. 352—354.

*Lehmann O.*, Flüssige Krystalle und die Theorien des Lebens. Leipzig 1906 (Joh. Ambros. Barth).

Derselbe, Fließende Krystalle und Organismen. Arch. f. Entwickl.-Mech., Bd. 21, 1906.

Derselbe, Scheinbar lebende Krystalle, Pseudopodien, Cilien und Muskeln. Biolog. Zentralbl., Bd. 28, 1908.

Derselbe, Über scheinbar lebende Krystalle und Myelinformen. Arch. f. Entwickl.-Mech. der Organismen, Bd. 26, 1908.

Derselbe, Flüssige Krystalle sowie Plastizität von Krystallen im allgemeinen, molekulare Umlagerungen und Aggregatszustandsänderungen. Leipzig 1904. Ref. von *L. Rhumbler* im Arch. f. Entwickl.-Mech., Bd. 19, 1905.

*Levy O.*, Entwicklungsmechanische Technik im letzten Dezennium. Zeitschr. f. wissenschaftl. Mikrosk. u. mikr. Technik, Bd. 26, 1909, S. 426—473.

*Lissitzky E.*, Durch experimentelles Eingreifen hervorgerufene überzählige Extremitäten bei Amphibien. Arch. f. Mikr. Anat., 1910, Bd. 75, H. 3. Ref. von *Bery* im Zentralbl. f. Anat., Bd. 7, S. 315.

*Lewis T.*, Polydaktylism. The Treasury of Human Inheritance. Parts I and II, Sect. III, a. London 1909.

*Lexer E.*, Über Gelenktransplantation. Verh. d. Deutschen. Ges. f. Chir., 38. Kongreß. 1909.

*Loeb J.*, Zur Theorie der physiologischen Licht- und Schwerkraftwirkungen. *Pflügers* Arch., Bd. 66, 1897.

Derselbe, Untersuchungen zur physiologischen Morphologie der Tiere. I. u. II. Würzburg 1891—1892.

Derselbe, Beiträge zur Entwicklungsmechanik der aus einem Ei entstehenden Doppelbildungen. Arch. f. Entwickl.-Mech., Bd. 1, 1895.

Derselbe, On the Transformation and Regeneration of Organs. American Journ. Physiol., Bd. 4, 1900.

Derselbe, Vorlesungen über die Dynamik der Lebenserscheinungen. Leipzig, Barth, 1906.
Derselbe, Studies in general Physiology. 2 Parts. Chicago 1904.
Derselbe, Über die chemischen Bedingungen für die Entstehung eineiiger Zwillinge beim Seeigel. Arch. f. Entwickl.-Mech., 27. Bd., 1909, S. 119.
*Loeb Leo,* Beiträge zur Analyse des Gewebewachstums. III. Die Erzeugung von Deciduen im Uterus des Kaninchens. Arch. f. Entwickl.-Mech., 27. Bd., 1909, S. 89.
*Loeb L.* u. *Addison W. H. F.,* Beiträge zur Analyse des Gewebewachstums. III. Transplantation der Haut des Meerschweinchens in Tiere verschiedener Spezies. Arch. f. Entwickl.-Mech., 27. Bd., 1909, S. 73.
*Löhlein W.,* Eine erfolgreiche Methode der Hornhauttransplantation. Arch. f. Augenheilkunde, 67. Bd., 1910.
*Lothrop Harriet E.,* Über Regenerationsvorgänge im Eierstocke. Diss. Zürich 1890.
*Lubarsch O.,* Die Metaplasiefrage und ihre Bedeutung für die Geschwulstlehre. Arb. a. d. path.-anat. Abt. d. königl. Hyg. Inst. Posen. Wiesbaden 1901.
*Maas O.,* Einführung in die experimentelle Entwicklungsgeschichte. Wiesbaden 1903.
Derselbe, Über die Wirkung der Kalkentziehung auf die Entwicklung der Kalkschwämme. Sitzungsber. der Ges. f. Morphologie u. Physiologie. München 1904.
Derselbe, Über Nichtregeneration bei Spongien. Arch. f. Entwickl.-Mech., 1910, Bd. 30, S. 356.
*Marchand F.,* Der Prozeß der Wundheilung mit Einschluß der Transplantation. Stuttgart, Enke, 1901.
*Maximow A.,* Die histologischen Vorgänge bei der Heilung von Hodenverletzungen und die Regenerationsfähigkeit des Hodengewebes. Beitr. path. Anat. u. allg. Path., Bd. 26, 1899.
*Martinotti,* Sui fenomeni consecutivi all' esportazione totale e parziale del pancreas. Comm. fatta R. Accad. di med. di Torino, 1888.
*Marinesco G.,* Sur la régénération des centres nerveux. C. R. Soc. de Biol. 1894.
*Mc. Clendon F. J.,* On the Totipotence of the First Two Blastomeres of the Frogs Egg. The American Naturalist, Vol. XLIII, 1909. (Diese „Totipotenz" ist als „atypisches" Vermögen auch von *Roux* erwiesen.)
*Meisenheimer J.,* Über den Zusammenhang von Geschlechtsdrüsen und sekundären Geschlechtsmerkmalen bei den Arthropoden. Verh. d. Deutschen Zool. Ges., 1908.
Derselbe, Ergebnisse einiger Versuchsreihen über Exstirpation der Geschlechtsdrüsen bei Schmetterlingen. Zool. Anz., 32. Bd., Bd. 1908.
Derselbe, Zur Ovarialtransplantation bei Schmetterlingen. Zool. Anz., Bd. 35, 1910.
Derselbe, Experimentelle Studien zur Soma- und Geschlechtsdifferenzierung. I. Beitrag, Jena 1909. II. Beitrag, Jena 1912.
Derselbe, Über die Wirkung von Hoden- und Ovarialsubstanz auf die sekundären Geschlechtsmerkmale des Frosches. Zool. Anz., 38. Bd., 1911.
Derselbe, Die Flügelregeneration bei Schmetterlingen. Verh. d. Deutschen Zool. Ges. 19. Vers., 1909, S. 174—182.
*Megusar Franz,* Regeneration der Fang-, Schreit- und Sprungbeine bei der Aufzucht von Orthopteren. Arch. f. Entwickl.-Mech., Bd. 29, 1910, S. 499.
*Merkel Fr.,* Bemerkungen über die Gewebe beim Altern. Verh. d. X. Internat. mediz. Kongresses in Berlin, 1890.
*Meyer Arthur* und *Schmidt Ernst,* Über die gegenseitige Beeinflussung der Symbioten heteroplastischer Transplantationen (von Pflanzen) mit besonderer Berücksichtigung der Wanderung der Alkaloide durch die Pfropfstellen. „Flora", allgem. Botan. Zeitg., Bd. 100, H. 3, 1910, S. 317—397.
*Meyns B.,* Über Froschhodentransplantation. *Pflügers* Arch., Bd. 132, S. 433—393, Mai 1910. Ref. von *Lohmann* im Zentralbl. f. Biochemie u. Biophysik. 1910—1911. S. 467.
*Mitrophanow P.,* Teratogenetische Studien, I. Arch. f. Entwickl.-Mech., Bd. 1, 1895.
*Morgan T. H.,* Experimental Studies on the Teleost Eggs. Anat. Anz., Bd. 9, 1893.
Derselbe, Experimental Studies of the Regeneration of Planaria maculata. Arch. f. Entwickl.-Mech., Bd. 7, 1898.

Derselbe, Regeneration and Liability to Injury. Zool. Bulletin, I, 1898.
Derselbe, A Confirmation of Spallanzani's Discovery of an Earthworm regenerating a Tail in place of a Head. Anat. Anz., Bd. 15, 1899.
Derselbe, Regeneration of Tissue composed of Parts of two Species. Biol. Bull., Bd. 1, 1899.
Derselbe, Regeneration. Old and new interpretations. Biol. Labor. of Waods Holl., 1899. Boston 1900.
Derselbe, Further Experiments on the Regeneration of the Tail of Fishes. Arch. f. Entwickl.-Mech., Bd. 14. 1902.
Derselbe, Regeneration in Bipalium. Arch. f. Entwickl.-Mech., Bd. 9, 1900. Regeneration in Planarians. Ebenda, Bd. 10, 1900. Regeneration in Teleosts. Ebenda. Regeneration in Tubularia. Ebenda, Bd. 11, 1901.
Derselbe, The internal Factors in the Regeneration of the Tail of the Tadpole. Arch. f. Entwickl.-Mech., Bd. 15, 1902.
Derselbe, Polarity and Regeneration in Plants. Bulletin botanical, 1904.
Derselbe, Regeneration. New-York, Macmillan Company, 1901. Dasselbe übersetzt von *M. Moszkowski* als 2. Aufl., 1907.
Derselbe, The Role of Irritability and Contractility as Dynamic Factors in Development and Regeneration. The Seventh Internat. Zoolog. Congr. Boston Meeting 1907. Cambridge 1910.
*Morgulis Sergius*, Is Regeneration a Repetition of the ontogenetic and phylogenetic Processes? The American Naturalist. Febr. 1910, Vol. XLIV.
Derselbe, Regeneration in the Brittle-Star Ophiocoma Pulima, with Reference to the Influence of the nervous System. Cambridge, Mass. U. S. A. May 1909.
Derselbe, Contributions to the Physiology of Regeneration. I. Experiments on Podarke Obscura. The Journal of Exper. Zool., Vol. 7, 1909.
Derselbe, Contributions to the Physiology of Regeneration. II. Experiments on Lumbriculus. Arch. f. Entwickl.-Mech., 28. Bd., 1909, S. 396.
Derselbe, Beiträge zur Regenerationsphysiologie. V. Die Regeneration isolierter Segmente und kleiner Stücke von Würmern. Arch. f. Entwickl.-Mech., 31. Bd., 1911.
Derselbe, Beiträge zur Regenerationsphysiologie. VI. Mitteilung. Über das Verhältnis des Nervensystems zur Regeneration. *Pflügers* Archiv. Bonn 1912.
*Morpurgo B.*, Über die Regeneration des quergestreiften Muskelgewebes bei neugeborenen weißen Ratten. Anat. Anz., Bd. 16, 1899.
*Müller Wilh.*, Plastische Operationen bei Spina ventosa. Mitteilung in den Verh. d. Deutschen Naturf. u. Ärzte. Aachen 1900.
*Muscatello G.* und *Damascelli D.*, Über den Einfluß der Nervendurchschneidung auf die Heilung von Knochenbrüchen. Arch. klin. Chir., Bd. 58, 1899.
*Nauwerck C.*, Über Muskelregeneration nach Verletzungen. Jena 1890.
*Nemec B.*, Studien über die Regeneration. Berlin 1905. (S. 305.)
*Neppi Valeria*, Über Anomalien bei Medusen der Gattung Irene und Tima. Arch. f. Entwickl.-Mech., 28. Bd., 1909, S. 368.
*Neumann E.*, Über den Heilungsprozeß nach Muskelverletzungen. Arch. f. mikr. Anat., Bd. 4, 1868.
Derselbe, Über Degeneration und Regeneration zerquetschter Nerven. Arch. f. mikr. Anat., Bd. 18, 1880.
Derselbe, Einige Versuche über Nerventransplantation. Arch. f. Entwickl.-Mech., Bd. 6, 1898.
Derselbe, Zur Frage der Epithelmetaplasie im embryonalen Ösophagus. Arch. f. mikr. Anat., 73. Bd., 1909, S. 744—751.
*Nusbaum J.* und *Sidoriak S.*, Beiträge zur Kenntnis der Regenerationsvorgänge nach künstlichen Verletzungen bei älteren Bachforellenembryonen. Arch. f. Entwickl.-Mech., Bd. 10, 1900.
*Nusbaum J.*, Beitrag zur Frage über die Abhängigkeit der Regeneration vom Nervensystem bei Nereis diversicolor *O. F. Müller*. Arch. f. Entwickl.-Mech., Bd. 25, 1908.

Derselbe, Zur Kenntnis der Heteromorphose bei der Regeneration der älteren Forellenembryonen. Anat. Anz., Bd. 23, 1903.
Derselbe, Contributions aux études sur la régénération des poissons osseux. Kosmos. Bd. 28, 1903.
*Nusbaum J.* und *Oxner M.*, Beiträge zur Kenntnis der Regenerationserscheinungen bei den Nemertinen. Bull. int. de l'Acad. des Sc. de Cracovie. 1910.
Dieselben, Über die Ungleichartigkeit des Regenerationsrhythmus in verschiedenen Körperregionen desselben Tieres. Beobachtungen der Nemertine Lineus ruber Müll. Ebenda.
Dieselben, Studien über die Regeneration der Nemertinen. I. Regeneration bei Lineus ruber. Arch. f. Entwickl.-Mech., 30. Bd., 1910.
Dieselben, Über Encystierung regenerierender Nemertinen. Biol. Zentralbl., Bd. 30, 1910.
Dieselben, Weitere Studien über die Regeneration der Nemertinen. I. Regeneration bei Lineus ruber Müll. Arch. f. Entwickl.-Mech., 32. Bd., 1911.
Dieselben, Die Restitution des ganzen Darmkanals durch Wanderzellen mesodermalen Ursprungs bei Lineus lacteus (Grube). Bullet. de l'Acad. des Sciences de Cracovie, Février 1911.
*Nussbaum M.*, Über die Teilbarkeit der lebendigen Materie. I. Die spontane und künstliche Teilung der Infusorien. Arch. f. mikr. Anat., Bd. 26, 1886. II. Mitt. Beiträge zur Naturgeschichte des Genus Hydra. Ebenda, Bd. 29, 1887.
Derselbe, Experimentelle Bestätigung der Lehre von der Regeneration im Hoden einheimischer Urodelen. *Pflüger*s Archiv, Bd. 119, 1907.
Derselbe, Innere Sekretion und Nerveneinfluß. Ergebnisse d. Anat. u. Entwickl., Bd. 15, 1905.
Derselbe, Die experimentelle Morphologie. I. Abschnitt aus *Nußbaum-Karsten-Weber*, Lehrbuch der Biologie für Hochschulen. Mit 113 Abbildungen im Text. Leipzig 1911.
Derselbe, Über Geschlechtsbildung bei Polypen. *Pflüger*s Archiv, 130. Bd. 1909.
Derselbe, Hoden- und Brunstorgane des braunen Landfrosches (Rana fusca). Arch. f. d. ges. Physiologie, Bd. 126, 1909.
Derselbe, Über die Beziehungen der Keimdrüsen zu den sekundären Geschlechtscharakteren. Arch. f. d. ges. Physiologie, Bd. 129, 1909.
*Orth Johannes*, Über Metaplasie. XXI. Kongr. intern. Med. 1909.
*Oppel Albert*, Kausal-morphologische Zellstudien. II. Über Verfettung der Leberzelle nach Phosphorvergiftung und „funktionelle Fettaufspeicherung". Arch. f. Entwickl.-Mech., 1910, Bd. 30, S. 304.
Derselbe, Kausal-morphologische Zellenstudien. III. Mitt. Über die Gewöhnung an Phosphor und über die Wirkungsweisen weiterer Gifte auf die Leber. Beiträge zur pathologischen Anatomie und zur allgemeinen Pathologie, Bd. 49, 1910.
Derselbe, Über die gestaltliche Anpassung der Blutgefäße unter Berücksichtigung der funktionellen Transplantation. Mit einer Originalbeigabe von Prof. *W. Roux*, enthaltend eine Theorie der Gestaltung der Blutgefäße einschließlich des Kollateralkreislaufs. Vortr. u. Aufs. über Entwickl.-Mech. Leipzig 1910, H. 10.
*Paladino G.*, Ulteriori ricerche sulla distruzione e rinuovamento continuo del parenchima ovarico nei mammiferi. Napoli 1887.
Derselbe, La rinuovazione del parenchima ovarico nella donna. Monit. zool. ital., Vol. 5, 1894.
*Pasewaldt G.*, Experimentelle und histologische Untersuchungen über die kompensatorische Hypertrophie der Ovarien. Dissert. Bonn 1888.
*Peebles F.*, Experimental Studies on Hydra. Arch. f. Entwickl.-Mech., Bd. 5, 1897.
Dieselbe, Experiments in Regeneration and in Grafting of Hydrozoa. Ebenda, Bd. 10, 1900.
*Peters A.*, Über Regeneration des Epithels der Cornea. Dissert. Bonn 1885.
*Petrone A.*, Du processus régénérateur sur le poumon, sur le foie et sur le rein. Arch. ital. de biol., Vol. 5, 1884.

*Pfeffer W.*, Pflanzenphysiologie. Leipzig 1881.
Derselbe, Zur Kenntnis der Plasmahaut und der Vakuolen nebst Bemerkungen über den Aggregatzustand des Protoplasmas und über osmotische Vorgänge. Bd. 16 der Abh. d. math.-phys. Kl. d. Kgl. Sächs. Ges. d. Wiss. Leipzig 1890.
*Pflüger E.*, Über die physiologische Verbrennung in den lebendigen Organismen. *Pflügers* Archiv, Bd. 10, 1875, S. 342 ff.
Derselbe, Die teleologische Mechanik der lebendigen Natur. *Pflügers* Archiv, Bd. 15, S. 57 ff. und Bd. 29, S. 28.
Derselbe, Über den Einfluß der Schwerkraft auf die Teilung der Zellen und auf die Entwicklung des Embryo. *Pflügers* Archiv, Bd. 32. Bonn 1883.
Derselbe, Über die Einwirkung der Schwerkraft und anderer Bedingungen auf die Richtung der Zellteilung. Arch. f. d. ges. Phys., Bd. 34.
Derselbe, Über das Wesen der Eiweißstoffe. *Pflügers* Archiv, Bd. 129, 1909.
*Philipeaux J. M.*, Sur la régénération des membres chez l'Axolotl (Siren pisciformis). Comptes rendus Acad. des Sciences. Paris 1867.
Derselbe, Les membres de la Salamandre aquatique bien extirpés ne régénèrent point. Comptes rendus Acad. des Sciences. Paris 1876.
Derselbe, Note sur la production de l'oeil chez la Salamandre aquatique. Gazette médic. de Paris, T. 51, 1880.
*Piana*, Ricerche sulla polidactilia acquisita determinata sperimentale nei tritone e sulle code supernumerarie nelle lacertole. Ricerche Laborat. di anat. normale di Roma, Vol. 6, 1894.
*Pischinger F.*, Über Bau und Regeneration des Assimilationsapparates von Streptocarpus und Monophyllaea. Sitzungsber. d. Kais. Ak. d. Wiss. in Wien, math.-nat. Kl., 1902. Referat in Bot. Zeit., 1903 *(H. Winkler)*.
*Podwyssozki W.*, Über die Regeneration der Leber, der Niere, der Speichel- und der *Meibom*schen Drüsen unter pathologischen Bedingungen. Fortschr. d. Med., Bd. 3, 1887.
*Ponfick E.*, Über Regeneration der Leber. Verhandl. des X. intern. Kongreß zu Berlin, 1890.
*Prowazek S.*, Zur Regeneration der Algen. Biol. Zentralbl., 27. Bd., 1907.
*Przibram Hans*, Regeneration. Erg. d. Phys., Jahrg. 1, 1902.
Derselbe, Experimentelle Studien über Regeneration. Arch. f. Entwickl.-Mech., Bd. 11, 1901.
Derselbe, Experimentelle Biologie der Seeigel. *Bronns* Klassen u. Ord., Bd. 2, Lief. 3. Leipzig 1902.
Derselbe, Formregulationen verletzter Krystalle. Zeitschr. f. Krystallogr., Bd. 39. Leipzig 1904.
Derselbe, Einleitung in die experimentelle Morphologie der Tiere. Wien, Deuticke, 1904 (Kapitel 9 und 10 Regeneration).
Derselbe, Die „Heterochelie" bei dekapoden Crustaceen (zugleich Experimentelle Studien über Regeneration, III). Arch. f. Entwickl.-Mech., Bd. 19, 1905, S. 242.
Derselbe, Krystallanalogien zur Entwicklungsmechanik der Organismen. Arch. f. Entwickl.-Mech., 22. Bd., 1906.
Derselbe, Experimental-Zoologie. II. Regeneration. Eine Zusammenfassung der durch Versuche ermittelten Gesetzmäßigkeiten tierischer Wiedererzeugung (Nachwachsen, Umformung, Mißbildung). Leipzig und Wien 1909.
Derselbe, Die Homoeosis bei Arthropoden. Arch. f. Entwickl.-Mech., Bd. 29, 1910.
Derselbe, Die Verteilung formbildender Fähigkeiten am Tierkörper in dorso-ventraler Richtung. Arch. f. Entwickl.-Mech., Bd. 30[1], 1910.
*Pugnat A.*, Note sur la régénération expérimentale de l'ovaire. C. r. Soc. Biol. Paris 1900.
*Rand H. W.*, Regeneration und Regulation in Hydra viridis. Arch. f. Entwickl.-Mech., Bd. 8, 1899.
Derselbe, The Regulation of Graft abnormalities in Hydra. Ebenda, Bd. 9, 1899.

*Rauber A.*, Die Regeneration der Krystalle. Eine morphologische Studie. 2 Hefte. Dazu: Atlas der Krystallregeneration. 7 Hefte mit 144 photogr. Taf. Leipzig 1895—1901.
Derselbe, Vergiftung der Mutterlauge. Ein Beitrag zur Erforschung des Lebens. 2 Teile mit 70 photogr. Tafeln, 1902—1904. Leipzig, Georg Thieme.
Derselbe, Ontogenese als Regeneration betrachtet. Erste und zweite Studie. Leipzig 1908 und 1909.
*Reinke F.*, Die Regeneration der Linse und ihr Verhältnis zum Zweckbegriff. Sitzungsbericht Naturf. Ges. Rostock, Nr. 1, 1902.
*Reinke J.*, Über Caulerpa. Wissenschaftliche Meeresuntersuchungen. K. Kommission Kiel, Bd. 5. Kiel 1900.
*Rhumbler L.*, Physikalische Analyse von Lebenserscheinungen der Zelle. I. Arch. f. Entwickl.-Mech., Bd. 7, 1898.
Derselbe, Zellenmechanik und Zellenleben. Leipzig 1904.
*Ribbert H.*, Über die Regeneration und Entzündung der Lymphdrüsen. Beitr. path. Anat. u. allg. Path., Bd. 6, 1889.
Derselbe, Über die Regeneration des Schilddrüsengewebes. Arch. f. pathol. Anat., Bd. 117.
Derselbe, Über die kompensatorische Hypertrophie der Geschlechtsdrüsen. Arch. f. pathol. Anat., Bd. 120, 1890.
Derselbe, Über die Regeneration der Mammilla etc. Arch. f. mikr. Anat., Bd. 37, 1891.
Derselbe, Beiträge zur kompensatorischen Hypertrophie und zur Regeneration. Arch. f. Entwickl.-Mech., Bd. 1, 1894.
Derselbe, Über die Entstehung der Geschwülste. Deutsche med. Wochenschr., 1895.
Derselbe, Das pathologische Wachstum der Gewebe bei der Hypertrophie, Regeneration, Entzündung und Geschwulstbildung. Bonn 1896.
Derselbe, Über Veränderungen transplantierter Gewebe. Arch. f. Entwickl.-Mech., Bd. 6, H. 1, 1897.
Derselbe, Experimentelle Erzeugung von Epithel- und Dermoidcysten. Deutsche Zeitschrift f. Chir., Bd. 47, 1898.
Derselbe, Über Transplantation von Ovarium, Hoden und Mamma. Arch. f. Entwickl.-Mech., Bd. 7, 1898.
Derselbe, Über Transplantation auf Individuen anderer Gattung. Verh. Deutsch. path. Ges. Breslau 1904.
Derselbe, Beiträge zur Entstehung der Geschwülste. Ergänzung zur „Geschwulstlehre für Ärzte und Studierende“ (1904). Bonn 1906.
*Rörig A.*, Welche Beziehungen bestehen zwischen den Reproduktionsorganen der Cerviden und der Geweihbildung derselben? Arch. f. Entwickl.-Mech., Bd. 8, 1899.
*Roux W.*, Der züchtende Kampf der Teile im Organismus. Leipzig 1881.
Derselbe, Beiträge zur Entwicklungsmechanik des Embryo. Nr. 1. Zur Orientierung über einige Probleme der embryonalen Entwicklung. Zeitschr. f. Biol., Bd. 21, 1885, Ges. Abh., II, Nr. 18.
Derselbe, Über die künstliche Hervorbringung „halber“ Embryonen durch Zerstörung einer der beiden ersten Furchungszellen sowie über die Nachentwicklung (Postgeneration) der fehlenden Körperhälfte. *Virchows* Archiv, Bd. 114, 1888, Ges. Abh., II, S. 419.
Derselbe, Gesammelte Abhandlungen über Entwicklungsmechanik der Organismen. Leipzig 1895, Bd. 1, S. 400 ff., Bd. 2, S. 980 etc.
Derselbe, Über die verschiedene Entwicklung isolierter erster Blastomeren. Arch. f. Entwickl.-Mech., Bd. 1, 1895.
Derselbe, Berichtigungen zu *H. Drieschs* Aufsatz: „Betrachtungen über die Organisation des Eies.“ Arch. f. Entwickl.-Mech., Bd. 4, 1896.
Derselbe, Für unser Programm und seine Verwirklichung. Arch. f. Entwickl.-Mech., Bd. 5, 1897.
Derselbe, Über die Selbstregulation der Lebewesen. Arch. f. Entwickl.-Mech., Bd. 13, 1902, S. 610 ff.

Derselbe, Vorträge und Aufsätze über Entwicklungsmechanik. H. 1. Die Entwicklungsmechanik, ein neuer Zweig der biologischen Wissenschaft. Leipzig 1905.
Derselbe, Die angebliche künstliche Erzeugung von Lebewesen. „Umschau", 1906.
Derselbe, Können wir die Faktoren und die gestaltenden Wirkungsweisen der typischen Entwicklungsvorgänge der Lebewesen ermitteln? Seventh. Intern. Zoolog. Congr. Boston 1907.
*Sachs C.*, Stoff und Form der Pflanzenorgane. Arb. a. d. bot. Inst. Würzburg, Bd. II, 1882.
*Sala Guido*, Über die Regenerationserscheinungen im zentralen Nervensystem. Anat. Anz., 34. Bd., 1909, S. 193—199.
*Saltykow S.*, Über Transplantation zusammengesetzter Teile. Arch. f. Entwickl.-Mech., Bd. 9, 1900.
Derselbe, Über Replantation lebender Knochen. Mit 1 Taf. *Zieglers* Beitr., 45. Bd., 1909.
*Samuel S.*, Das Gewebswachstum bei Störungen der Innervation. Arch. f. path. Anat., Bd. 113, 1888.
*Schaper A.*, Experimentelle Studien an Amphibienlarven. I. Arch. f. Entwickl.-Mech., Bd. 6. 1898.
*Schiefferdecker P.*, Neurone und Neuronenbahnen. Leipzig 1906.
*Schimkewitsch W.*, Über den atavistischen Charakter der Linsenregeneration bei Amphibien. Anat. Anz., Bd. 21, 1902.
*Schmincke A.*, Die Regeneration der quergestreiften Muskelfasern bei den Säugetieren. *Zieglers* Beitr., Bd. 45, 1909, S. 424.
*Schöne Georg*, Die heteroplastische und homöoplastische Transplantation. Einige Untersuchungen und vergleichende Studien. Berlin 1912.
*Schridde H.*, Die ortsfremden Epithelgewebe des Menschen. Untersuchungen und Betrachtungen. Jena. Sammlung anatomischer und physiologischer Aufsätze, H. 6.
*Schultz E.*, Aus dem Gebiete der Regeneration. Zeitschr. f. wissenschaftl. Zool., Bd. 66, 1899.
Derselbe, Über das Verhältnis der Regeneration zur Embryonalentwicklung und Knospung. Biol. Zentralbl., Bd. 22, 1902.
Derselbe, Über Regenerationserscheinungen bei Phoronis etc. Zeitschr. f. wiss. Zool., Bd. 75, 1903.
Derselbe, Über Regenerationserscheinungen bei Actinotrocha branchiata Müller. Zeitschrift f. wiss. Zool., Bd. 75, 1903.
Derselbe, Über Regenerationsweisen. Biol. Zentralbl., Bd. 24, 1904.
Derselbe, Über atavistische Regeneration bei Flußkrebsen. Arch. f. Entwickl.-Mech., Bd. 20, 1905.
*Schultze L.*, Die Regeneration des Ganglions von Ciona intestinalis. Jen. Zeitschr., Bd. 83, 1899.
*Schultze O.*, Über die Entwicklung der Medullarplatte des Froscheies. Verh. phys.-med. Ges. Würzburg, Bd. 23, 1889.
Derselbe, Die künstliche Erzeugung von Doppelbildungen bei Froschlarven mit Hilfe abnormer Gravitationswirkung. Arch. f. Entwickl.-Mech., Bd. 1, S. 269, 1894.
Derselbe, Über den Einfluß des Luftmangels auf die erste Entwicklung des Eies. Verh. d. phys.-med. Ges. Würzburg 1899.
*Schwalbe E.*, Neuere Forschungen über Morphologie und Entstehung der Geschwülste. Deutsche med. Wochenschr., 1907.
Derselbe, Die Morphologie der Mißbildungen des Menschen und der Tiere. I. Allgemeine Mißbildungslehre. Jena, Fischer, 1906. II. Die Doppelbildungen. 1907.
Derselbe, Mißbildung und Geschwulst. Ergebnisse der wissenschaftl. Medizin. Jahrg. 1, 1909.
Derselbe, Mißbildung und Variationslehre. Samml. anat. u. phys. Vortr. u. Aufs., H. 9. Jena 1910.
*Schwalbes* Jahresberichte. Transplantation, Regeneration und Involution von *Fischel, Henneberg* u. a.

*Sgobbo Fr.*, Sulla regenerazione del midollo spinale nei vertebrati. La Psichiatria, Vol. 8, 1891.

*Shorey Marian Lydia*, The Effect of the Destruction of Peripheral Areas on the Differentiation of the Neuroblasts. Journ. of Exper. Zool., Vol. 7, Nr. 1, 1909.

*Siereking H.*, Beiträge zur Kenntnis des Wachstums und der Regeneration des Knorpels etc. Dissert. Straßburg 1891.

*Solger, F. B.*, Hautpigment und Belichtung. Klinische Beobachtungen nebst Bemerkungen über das Vererbungsproblem. Dermatol. Zeitschr., 16. Bd., 1909.

*Spallanzani L.*, Prodromo di un opera sopra le riproduzioni animali. Op. Tom. 4. Milano 1826.

*Spemann H.*, Experimentelle Erzeugung zweiköpfiger Embryonen. Sitzungsber. phys.-med. Ges. Würzburg 1900.

Derselbe, Über Korrelationen in der Entwicklung des Froschauges. Verh. anat. Ges. Bonn 1901.

Derselbe, Entwicklungsphysiologische Studien am Tritonei. I. Arch. f. Entwickl.-Mech., Bd. 12, 1901. II. Ebenda, Bd. 15, 1903.

Derselbe, Über embryonale Transplantation. Vortrag auf der Versammlung Deutscher Naturforscher und Ärzte 1906. Naturwissenschaftl. Rundschau, Jahrg. 21, Nr. 41 und 42.

Derselbe, Über eine neue Methode der embryonalen Transplantation. Verh. d. Deutschen Zool. Ges., 1906.

Derselbe, Die Entwicklung des invertierten Hörgrübchens zum Labyrinth. Ein kritischer Beitrag zur Strukturlehre der Organanlage. Arch. f. Entwickl.-Mech., Bd. 2, T. 2, 1910.

*Spencer H.*, Die Prinzipien der Biologie. Deutsche Ausgabe von *B. Vetter*. Stuttgart 1876, S. 139—194.

*Steinmann Paul*, Organisatorische Resultanten. Studien an Doppelplanarien. II. Arch. f. Entwickl.-Mech., Bd. 29, 1910, S. 169.

*Stich* und *Makkas*, Zur Transplantation der Schilddrüse mittelst Gefäßnaht. Beitr. z. klin. Chir., Bd. 60, 1908.

*Stilling A.* und *Pfitzner W.*, Über die Regeneration der glatten Muskeln. Berl. Akad. Nat. Med. Ver. Heidelberg, Bd. 28, 1885.

*Stilling A.*, Über die kompensatorische Hypertrophie der Nebennieren. Arch. f. pathol. Anat., Bd. 118.

Derselbe, Die Entwicklung transplantierter Gewebsteile. Verh. d. Deutschen Path. Ges., 1903.

Derselbe, Versuche über Transplantation. 2. Mitteilung. Das Ergebnis der Transplantation von Uterusgewebe in die Milz. Beitr. z. pathol. Anat., Bd. 48, H. 1, 1910.

*Stingl G.*, Über regenerative Neubildungen an isolierten Blättern phanerogamer Planzen-Flora 1909, Bd. 99.

*Stockard Charles B.*, The experimental Production of various Eye Abnormalities and an Analysis of the Development of the primary Parts of the Eye. Arch. f. vergl. Ophthalmol., Bd. 1, 1910.

Derselbe, Studies of Tissue Growth II. Autoreferat im Arch. f. Entwickl.-Mech., 28. Bd., 1909. (Functional Activity, Form Regulation, Level of the Cut and Degree of Injury as Factors in Determining the Rate of Regeneration. The Reaction of Regenerating Tissue on the old Body.)

*Strasburger E., Noll F., Schenk H.* und *Schimper A. F. W.*, Lehrbuch der Botanik. Jena 1895, 2. Aufl.

*Strasburger E.*, Meine Stellungnahme zur Frage der Pfropfbastarde. Ber. d. Deutschen bot. Ges., Bd. 27, 1909, S. 511, Ref.

*Ströbe H.*, Experimentelle Untersuchungen über Degeneration und Regeneration peripherer Nerven nach Verletzungen. Beitr. z. pathol. Anat. u. allgem. Pathol., Bd. 13, 1893.

*Tandler J.*, Über den Einfluß der Geschlechtsdrüsen auf die Geweihbildung bei Renntieren. Wiener Akad. Anz., 1910, Nr. 16.

*Tandler Julius* und *Grosz Siegfried,* Über den Einfluß der Kastration auf den Organismus. II. Skopzen. Arch. f. Entwickl.-Mech., Bd. 30², 1910, S. 236.

Dieselben, Über den Einfluß der Kastration auf den Organismus. III. „Die Eunuchoide." Arch. f. Entwickl.-Mech., Bd. 29, 1910, S. 299.

*Tschow G.,* Zur Regeneration des Weichkörpers bei den Gastropoden. Arch. f. Entwickl.-Mech. Leipzig 1910.

Derselbe, Zur Kenntnis der Schalenregeneration bei den Gastropoden. Arch. f. Entwickl.-Mech., Bd. 31, 1910.

Derselbe, Mißbildungen bei der Fühlerregeneration von Süßwasserschnecken. Zool. Anz., Bd. 35, 1910.

*Tiesenhausen M. v.,* Zur Frage über die Implantation von Embryonalgewebe. *Virchows* Archiv, Bd. 195, 1909.

*Tilp A.,* Über die Regenerationsvorgänge in den Nieren des Menschen. Jena 1912.

*Timann C.,* Die Behandlung der Spina ventosa mittelst freier Autoplastik. Beitr. f. klin. Chir., Bd. 36, 1902.

*Tizzoni,* Studio sperimentale sulla rigenerazione parciale e sulla neoformazione del fegato. Accad. Reale dei Lincei, Vol. 253, 1882/83.

*Tornier G.,* Über Hyperdaktylie, Regeneration und Vererbung mit Experimenten. I. Arch. f. Entwickl.-Mech., Bd. 3 u. 4, 1896.

Derselbe, Über eine experimentell erzeugte Doppelgliedmaße. Sitzungsber. Ges. naturf. Freunde Berlin, 1896.

Derselbe, Über Schwanzregeneration und Doppelschwänze bei Eidechsen. Sitzungsber. Ges. naturf. Freunde Berlin, 1897.

Derselbe, Entstehungsursachen der Poly- und Syndaktylie der Säugetiere. Sitzungsber. Ges. naturf. Freunde Berlin, 1897.

Derselbe, Über experimentell erzeugte dreischwänzige Eidechsen und Doppelgliedmaßen von Molchen. Zool. Anz., Bd. 20, 1897.

Derselbe, Über Operationsmethoden, welche sicher Hyperdaktylie erzeugen etc. Zool. Anz., Bd. 20, 1897.

Derselbe, Ein Fall von Polymelie beim Frosch mit Nachweis der Entstehungsursachen. Sitzungsber. Ges. naturf. Freunde Berlin, 1898.

Derselbe, Über Amphibiengabelschwänze und einige Grundgesetze der Regeneration. Zool. Anz., Bd. 23, 1900.

Derselbe, Überzählige Bildungen und die Bedeutung der Pathologie für die Biontotechnik. Verhandlungen des V. internationalen Zoologen-Kongresses zu Berlin 1901.

Derselbe, Das Entstehen von Käfermißbildungen, besonders Hyperantennie und Hypermelie. Arch. f. Entwickl.-Mech., Bd. 9, 1900.

Derselbe, Neues über das natürliche Entstehen und experimentelle Erzeugen überzähliger und Zwillingsbildungen. Zool. Anz., Bd. 24, 1901.

Derselbe, Entstehen eines Schweinehinterfußes mit fünf Zehen und den Begleiterscheinungen. Arch. f. Entwickl.-Mech., Bd. 15, 1902.

Derselbe, Entstehen von Vorderfuß-Hyperdaktylie bei Cervusarten. Ein Beitrag zur Biotechnik. Morphol. Jahrb., Bd. 31, H. 4, 1903.

Derselbe, Über experimentell erzielte Kopf- und Hinterleibsvermehrungen bei Axoloten und Fröschen. Sitzungsber. Ges. naturf. Freunde Berlin, 1907.

*Towle Elizabeth W.,* On muscle regeneration in the limbs of Plethodon. Reprint from Biol. Bulletin, Vol. 2. Boston 1901.

*Trostorff,* Experimentelle und histologische Untersuchungen über die kompensatorische Hypertrophie der Mammae. Dissert. Bonn 1888.

*Unger E.,* Über Nierentransplantationen. Berliner klin. Wochenschr., 1909, S. 1057—1060.

*Vanlair C.,* Nouvelles recherches expérimentales sur la régénération des nerfs. Arch. de Biol., Bd. 6, 1887.

*Verworn Max,* Biologische Protistenstudien. Zeitschr. f. wiss. Zool., Bd. 46, 1888.

Derselbe, Die physiologische Bedeutung des Zellkerns. *Pflügers* Arch., Bd. 51, 1891.

Derselbe, Die Biogenhypothese. Jena 1903.

Derselbe, Naturwissenschaft und Weltanschauung. Rede. Leipzig 1904.
*Vöchting H.,* Über Organbildung im Pflanzenreich. I. u. II. Bonn 1878 u. 1884.
Derselbe, Über die Regeneration der Marchantieen. Jahrbücher f. wiss. Botanik, Bd. 26, Berlin 1885.
Derselbe, Über Transplantation am Pflanzenkörper. Nachr. v. d. königl. Ges. d. Wiss. etc. zu Göttingen, 1889.
Derselbe, Über Transplantation auf Pflanzenkörper. Untersuchungen zur Physiologie und Pathologie. Tübingen 1892.
Derselbe, Über die durch Pfropfen herbeigeführte Symbiose des Helianthus tuberosus und Helianthus annuus. Sitzungsber. der königl. preuß. Akademie d. Wiss. zu Berlin, Bd. 34, 35, 1894.
Derselbe, Zur Physiologie der Knollengewächse. Jahrbücher f. wiss. Botanik, Bd. 34, 1899.
Derselbe, Über die Keimung der Kartoffelknollen. Botanische Zeitung, 1902.
Derselbe, Über Regeneration und Polarität bei höheren Pflanzen. Botan. Zeitg., 1906.
Derselbe, Untersuchungen zur experimentellen Anatomie und Pathologie des Pflanzenkörpers. Tübingen 1908.
*Vollmer E.,* Ein Beitrag zur Lehre von der Regeneration, speziell der Hautdrüsen der Amphibien. Arch. f. mikr. Anat., Bd. 42, 1893.
*Volkmann R.,* Über die Regeneration des quergestreiften Muskelgewebes beim Menschen und Säugetier. Beitr. z. pathol. Anat. u. allg. Pathol., Bd. 12, 1892.
*Wagner F. v.,* Einige Bemerkungen über das Verhältnis von Ontogenie und Regeneration. Biol. Zentralbl., Bd. 13.
Derselbe, Beiträge zur Kenntnis der Reparationsprozesse bei Lumbriculus variegatus. I. Zool. Jahrb. Abth. f. An., Bd. 13, 1900.
*Waldeyer W.,* Archiblast und Parablast. Arch. f. mikr. Anat., Bd. 22, S. 49, 1883.
*Walter F. K.,* Über Regeneration pheripherer Nerven. 1908. Rostocker Inaugural-Dissertation.
Derselbe, Über den Einfluß der Schilddrüse auf die Regeneration der peripheren markhaltigen Nerven. Deutsche Zeitschr. f. Nervenheilk., 38. Bd., 1909.
Derselbe, Welche Bedeutung hat das Nervensystem für die Regeneration der Tritonextremitäten? Arch. f. Entwickl.-Mech., Bd. 33, H. 1 u. 2, 1911.
Derselbe, Schilddrüse und Regeneration. Arch. f. Entwickl.-Mech., Bd. 29.
*Wasmann Erich,* Die moderne Biologie und die Entwicklungstheorie. Freiburg 1904.
*Weber A.,* Recherches sur la régénération de la tête chez les larves d'Amphibiens. Bull. de la Soc. d'Hist. nat. de l'Afrique du Nord. Année 1, Nr. 1, S. 5—6.
*Weismann A.,* Das Keimplasma. Eine Theorie der Vererbung. Jena 1892. Kapitel II: Die Regeneration.
Derselbe, Vorträge über Deszendenztheorie. 2 Bde. Jena 1902. Bd. II, Vorträge 20 u. 21 Regeneration.
Derselbe, Tatsachen und Auslegungen in bezug auf Regeneration. Anat. Anz., Bd. 15, 1899.
Derselbe, Versuche über Regeneration bei Tritonen. Anat. Anz., Bd. 22, 1903.
*Wendelstadt H.,* Über Knochenregeneration. Arch. mikr. Anat., Bd. 57, 1901.
*Werber E. J.* und *Goldschmidt W.,* Regeneration des Schnabels bei der Hausgans (Anser cinereus) und bei der Hausente (Anas boschar). Arch. f. Entwickl.-Mech., 28. Bd., 1909.
*Wetzel Georg,* Über die Bedeutung der zirkulären Furche in der Entwicklung der *Schultze*schen Doppelbildungen von Rana fusca. Arch. f. mikr. Anat., Bd. 46, 1895.
*Wilhelmi J.,* Zur Regeneration und Polypharyngie der Tricladen. Zool. Anz., 34. Bd., 1909, S. 673—677.
Derselbe, Nachtrag zur Mitteilung über die Polypharyngie der Tricladen. Zool. Anat., Bd. 35, 1910.
*Wilson E. B.,* On multiple and partial Development in Amphioxus. Anat. Anz., Bd. 7, 1892.

Derselbe, On Regeneration and the mosaic Theory of Development. Title. Tr. New York Acad. Sc. V., Nr. 12. 1892—1893.
Derselbe, Amphioxus and the mosaic Theory of Development. Journ. of Morphol., Vol. 8. 1894.
Derselbe, On Cleavage and mosaic-Work. Arch. f. Entwickl.-Mech., Bd. 3. 1896.
*Winkler Hans*, Über Pfropfbastarde. Vortrag in der Gesellschaft Deutscher Naturf. und Ärzte. Verh. 1911. Leipzig. A. Pries. 1911.
Derselbe, Über regenerative Sproßbildung an den Ranken, Blättern und Internodien von Passiflora coerulea L. Sonderabdr. aus den Berichten der Deutschen Botan. Ges., Bd. 23. 1905.
Derselbe, Über Polarität, Regeneration und Heteromorphose bei Bryopsis. Jahrb. f. wiss. Botanik. Bd. 35. 1900.
Derselbe, Über das Wesen der Pfropfbastarde. (Vorläufige Mitt.) Ber. d. Deutschen Botan. Ges., 28. Jahrg., 1910.
Derselbe, Über die Nachkommenschaft der Solanum-Pfropfbastarde und die Chromosomenzahlen ihrer Keimzellen. Zeitschr. f. Botanik. 2. Bd., 1909.
Derselbe, Weitere Untersuchungen über Pfropfbastarde. Zeitschr. f. Botanik, 1. Jahrg., Heft 5. 1909.
Derselbe, Über Pfropfbastarde und pflanzliche Chimären. Ber. d. Deutschen Botan. Ges., 1907. Bd. 15.
*Wolff G.*, Entwicklungsphysiologische Studien. I. Die Regeneration der Urodelenlinse. Arch. f. Entwickl.-Mech., Bd. 1, 1895. II. Weitere Mitteilungen zur Regeneration der Urodelenlinse. Ebenda. Bd. 12, 1901.
Derselbe, Die physiologische Grundlage der Lehre von den Degenerationszeichen. *Virchows* Arch., Bd. 169. 1902.
Derselbe, Regeneration und Nervensystem. Festschrift zum 60. Geburtstage *Richard Hertwigs*, Bd. 3. Jena 1910.
*Wolff J.*, Osteoplastische Operationen mittelst Verschiebung von Knochenstücken. Berliner klin. Wochenschr., 1894.
*Worch Oskar*, Die Kastration und ihre Wirkungen auf den Organismus; der gegenwärtige Stand nach der Frage von der inneren Sekretion. Jahrb. f. Tierzucht. IV. Jahrg., 1909.
*Wrede*, Experimente zur Frage der Gelenktransplantation. Verh. d. Deutschen Ges. f. Chir., 38. Kongreß, 1909.
*Zaayer J. H.*, Nierentransplantie. Ned. Tijdschr. v. Gen., 1908, Bd. 2.
*Zeleny Ch.*, The Relation between Degree of Injury and Rate of Regeneration. Additional Observations and General Discussion. Journ. of Exper. Zool., Vol. VII. 1909.
Derselbe, Some Experiments on the Effect of Age upon the Rate of Regeneration. Journ. of Exper. Zool., Vol. VII. 1909.
Derselbe, Compensatory Regulation. Journ. of Exper. Zool., Bd. 2. 1905.
*Ziegler Ernst*, Über die Reparation verletzter Gewebe. Deutsche med. Wochenschr., 1900. Nr. 49.
*Ziegler Kurt*, Zur Postgenerationsfrage. Anat. Hefte, Bd. 19. 1901.

# Über optische Sensibilisatoren im Tier- und Pflanzenreiche.

Von **Walther Hausmann**, Wien.

Die Forschungen der letzten Jahrzehnte haben eine große Reihe von Körpern kennen gelehrt, durch deren Anwesenheit Reaktionen zwischen anderen Substanzen ermöglicht werden, die ohne diese Körper nicht oder zumindest nur in ungleich geringerem Ausmaße zustande kommen. Als solche reaktionsbeschleunigenden Körper sind die tierischen und pflanzlichen Fermente bekannt. Es scheint mir nun insbesondere in Hinblick auf die fundamentalen Arbeiten *Karl Neubergs* über chemische Umsetzungen durch Lichtstrahlen gestattet, in gewisser Beziehung diesen Katalysatoren auch jene merkwürdigen Körper an die Seite zu stellen, bei deren Anwesenheit die Lichtstrahlen Wirkungen zu entfalten vermögen, die sie an sich nicht besitzen, die sogenannten „optischen Sensibilisatoren".

Der Begriff der optischen Sensibilisation entstammt der photographischen Technik. Es war einer der Hauptmängel der früheren photographischen Platten, daß sie sich nur für beschränkte Spektralbezirke lichtempfindlich verhielten: die verwendeten Silbersalze schwärzten sich hauptsächlich nur bei blauem und violettem Lichte, gegen die schwächer gebrochenen Anteile des Spektrums reagierten die Platten sehr schwach.

Im Jahre 1873 entdeckte nun *H. W. Vogel* im Laufe seiner Untersuchungen über die Farbenempfindlichkeit verschiedener Substanzen Farbstoffe, die imstande sind, lichtempfindliche Silbersalze auch für die schwächer gebrochenen Strahlenbezirke empfindlich zu machen. Die Entdeckung dieser von *Vogel* als Sensibilisatoren bezeichneten Körper hat zu einer völligen Umwälzung in der Photographie geführt. So groß jedoch die praktische Bedeutung der photographischen Sensibilisation ist, in der theoretischen Erkenntnis dieses rätselhaften Vorganges sind nur ganz geringe Fortschritte erzielt worden. Hier sei nur das eine bemerkt, daß, wie schon *Vogel* wußte, die in Betracht kommenden Farbstoffe Silbersalze nur für jene Strahlen zu sensibilisieren vermögen, die von ihnen absorbiert werden. Wie aber ein Farbstoff beschaffen sein muß, um sensibilisierende Wirkung auszuüben, das ist nicht bekannt und *Eder* weiß auf die Frage, welche Farbstoffe

Sensibilisatoren sind, keine andere Antwort, als daß man sich durch das Experiment hierüber Aufschluß verschaffen müsse. Das Vermögen, Brom- und Chlorsilber zu sensibilisieren, ist übrigens eine sehr allgemeine Eigenschaft der Farbstoffe.

Den Errungenschaften *Vogels* stellte sich später die Beobachtung der photodynamischen Erscheinung, d. i. die Sensibilisierung lebender und und von Lebewesen produzierter Materie, die an sich nicht besonders lichtempfindlich ist, durch *Hermann v. Tappeiner* an die Seite. Besonders für die an dieser Stelle zu erörternden Probleme der Physiologie und Pathologie sind die, wie sie auch genannt werden, photobiologischen Sensibilisatoren von großer Bedeutung.

Die Entdeckung der photodynamischen Wirkung fluorescierender Substanzen, die hier nur in großen Umrissen wiedergegeben sei, nahm ihren Ausgang von einer Arbeit *O. Raabs*, der unter der Leitung *v. Tappeiners* die Wirkung des salzsauren Akridins auf Paramaecium caudatum, ein Infusorium aus der Klasse der Ciliaten, untersuchte. Hierbei stellte sich nun in anfänglich ganz widersprechend erscheinenden Versuchen heraus, daß die Tiere manchmal bei sehr großer Verdünnung des Farbstoffes zugrunde gingen, manchmal bei ungleich höherer Konzentration am Leben blieben. Schließlich wurde erkannt, daß das Resultat davon abhing, ob Licht auf die Infusorien in der Akridinlösung eingewirkt hatte oder nicht. Wurden die Tiere, die sich in der Akridinlösung befanden, belichtet, so gingen sie ein, im Dunkeln jedoch blieben sie am Leben. Dieselbe „photodynamische Wirkung" beobachteten *v. Tappeiner* und seine Schüler noch bei einer großen Reihe fluorescierender Farbstoffe (Eosin, Erythrosin, Methylenblau, Toluylenrot u. v. a.) und konnten feststellen, daß die Fluorescenz dieser Substanzen ebenso eine conditio sine qua non für das Zustandekommen dieser Wirkung sei, wie die Absorption der wirksamen Strahlengattung durch die Farbstoffe.

Gleich in der ersten Mitteilung über diese in der Biologie zum ersten Male beobachtete Erscheinung wies *v. Tappeiner* auf die Ähnlichkeit dieses Prozesses mit der optischen Sensibilisation photographischer Platten hin.

Später wurde dann von diesem Forscher und seiner Schule gefunden, daß man auch Zellen höherer Organismen (Flimmerepithelien des Frosches) sowie Warmblüter durch solche Substanzen bei Belichtung schwer schädigen könne. Auch Toxine, Fermente und ähnliche Produkte tierischer und pflanzlicher Lebewesen werden von derartigen Körpern im Lichte zerstört, während sie im Dunkeln nicht beeinträchtigt werden.

Von prinzipieller Bedeutung ist ferner der Nachweis, daß die Lichtwirkung nicht etwa darauf beruht, daß durch die Belichtung aus dem Farbstoffe ein giftiger Stoff entsteht, der erst sekundär toxische Eigenschaften entfalten würde.

*Ledoux*, *Jodlbauer* und *H. v. Tappeiner* erbrachten für Zellen, Enzyme und Toxine den Beweis, daß die Anwesenheit von gasförmigem Sauer-

stoff eine notwendige Bedingung für die Schädigung durch Licht + fluorescierender Substanz ist. Auch zeigte *W. Straub*, sowie ebenfalls die Münchener pharmakologische Schule, daß die Oxydation mehrerer Substanzen (Jodkalium, metallisches Silber u. a.) bei Anwesenheit von Licht und fluorescierender Substanz meßbar befördert werde.

Es sei nur noch bemerkt, daß wir nach *v. Tappeiner* berechtigt sind, die photodynamische Erscheinung als Sensibilisierung zu bezeichnen mit der Einschränkung, daß es sich dabei nur um eine Beschleunigung der Wirkung des sichtbaren Lichtes bei Sauerstoffanwesenheit handelt, welche mit der Wirkung des ultravioletten Lichtes nicht in jeder Beziehung identifiziert werden darf.

Betreffs aller Einzelheiten verweise ich auf die zusammenfassende Darstellung *Hermann v. Tappeiners* in den Ergebnissen der Physiologie und möchte hier nur noch eines Fortschrittes gedenken, den wir *Sacharoff* und *Hans Sachs* sowie *Hermann Pfeiffer* verdanken. Diese Autoren wiesen nach, daß man durch Eosin und ähnliche Körper rote Blutkörperchen im Lichte zerstören könne, während im Dunkeln keine Wirkung auf diese Zellen ausgeübt wird. Die Zerstörung der Erythrocyten äußert sich darin, daß die undurchsichtig erscheinenden Aufschwemmungen roter Blutkörperchen in physiologischer Kochsalzlösung durchsichtig werden, daß an die Stelle der Deckfarbe die Lackfarbe tritt.

Es lag nun die Frage nahe, inwieferne unter normalen Bedingungen derartige photodynamisch wirkende Lichtüberträger bei der Einwirkung des Lichtes auf belebte Lebewesen in Betracht kommen. Daß dies der Fall ist, war an sich wahrscheinlich, da fürs erste anzunehmen war, daß unter der großen Reihe von fluorescierenden Farbstoffen, die in der belebten Natur vorkommen, auch photodynamisch wirksame sich finden würden. Weiters war zu erwägen, ob nicht die große Verbreitung der Farben nicht auch auf eine Funktion derselben im Sinne einer Sensibilisation hinweist.

Wenn jedoch — ganz abgesehen von diesen Erwägungen — der Nachweis geführt war, daß tierische oder pflanzliche Lebewesen Substanzen enthalten, welche photobiologisch zu wirken vermögen, so ist damit zugleich auch gesagt, daß bei jeglicher Lichteinwirkung auf lebende Organismen derartige Sensibilisatoren mitwirken können. Wir werden sogar nur dann, wenn es nachgewiesen ist, daß keine derartigen „Lichtüberträger" im Spiele sind, annehmen können, daß die Einwirkung der strahlenden Energie ohne solche Sensibilisatoren zustande gekommen ist. Selbstverständlich werden es in erster Linie gefärbte Lebewesen oder gefärbte Teile von solchen sein, die hier in Betracht kommen; doch ist es a priori nicht abzulehnen, daß auch ungefärbte Organe sensibilisiert sein können. Dies geht aus der wenn auch nicht erheblichen photodynamischen Wirkung des Chinins hervor.

Bisher sind hauptsächlich folgende natürliche Farbstoffe als optische Sensibilisatoren, welche auf photodynamische Weise wirken, bekannt geworden. Hämatoporphyrin *(Hausmann)* (1). Chlorophyll (alkoholische Auszüge grüner Pflanzen, sowie krystallisiertes Chlorophyll nach *Willstätter (Hausmann)* (2), alkoholische Auszüge etiolierter Pflanzen *(Hausmann* und *v. Portheim)*, der vom Bacterium pyocyaneum produzierte fluorescierende Farbstoff *(Jodlbauer* und *v. Tappeiner)*, sowie alkoholische Auszüge des B. prodigiosus. Hiezu kommen noch einige Körper, wie Aeskulin, Chinin u. a. mehr, die von *H. v. Tappeiner* untersucht worden sind.

Am genauesten ist von diesen Substanzen wohl das Verhalten des Hämatoporphyrins als optischer Sensibilisator studiert worden, insbesondere ist in diesem Falle auch die Wirkung des Farbstoffes auf Warmblüter bei gleichzeitiger Belichtung untersucht worden.

Das **Hämatoporphyrin** ist ein eisenfreies Abbauprodukt des Blutfarbstoffes des Hämoglobins; es ist dies jener Farbstoff, bei dem zuerst *v. Nencki* und *Marchlewski* auf die Ähnlichkeit zwischen Derivaten des Chlorophylls, des Blattgrüns und des roten Blutfarbstoffes aufmerksam wurde. Hämatoporphyrin ist ein in Säuren mit roter, in Alkalien mit bräunlicher Farbe löslicher Farbstoff von schön roter Fluorescenz. Insbesondere in den alkalischen Lösungen des Farbstoffes hebt sich das durch eine Linse konzentrierte Sonnenlicht als roter Strahl scharf von dem braunen Grundtone der Lösung ab.

Versetzt man eine Kultur von Paramäcien aus der Klasse der Wimperinfusorien (Ciliata) mit einer Lösung schwach alkalischen Hämatoporphyrins, so werden die Infusorien hierdurch gar nicht geschädigt. Wenn man jedoch diese Lösungen, in denen sich die Tiere befinden, dem Lichte aussetzt, so gehen die Paramäcien auch bei sehr starker Verdünnung des Hämatoporphyrins zugrunde. Es genügt eine Konzentration des Farbstoffes von 1 : 80.000, um die Infusorien im Lichte eines trüben Wintertages, also bei einer ungemein schwachen Lichtintensität, abzutöten.

Auch rote Blutkörperchen der verschiedensten Tierarten werden durch Hämatoporphyrinlösungen im Lichte aufgelöst. Es liegt demnach hier der Fall vor, daß ein Abkömmling des Blutfarbstoffes unter Umständen ein intensives Blutgift darstellen kann.

Hämatoporphyrin ist als optischer Sensibilisator sensu strictiori anzusehen, denn es ist fürs erste nur dann giftig, wenn es bei Gegenwart des Lichtes auf das zu vergiftende Objekt wirkt. Ferner ist es nicht etwa deshalb im Lichte toxisch, weil infolge der Belichtung des Farbstoffes eine Substanz entsteht, die giftig wirkt. Daß dies nicht der Fall ist geht nämlich daraus hervor, daß Lösungen des Farbstoffes, die viele Stunden lang dem Lichte ausgesetzt waren, um nichts giftiger sind als solche, die nicht vorbelichtet waren. Wie bei allen optischen Sensibilisatoren ist die Wirkung

des Farbstoffes an Strahlen einer bestimmten Wellenlänge, etwa um 500 $\mu\mu$, gebunden.

Ebenso wie einzellige Lebewesen und wie rote Blutkörperchen können nun auch Warmblüter durch Hämatoporphyrin lichtempfindlich gemacht werden, und dies in einem so hohen Grade, wie es bisher auch nicht annähernd bei einem anderen photobiologischen Sensibilisator nachgewiesen werden konnte.

Injiziert man einer weißen Maus eine geringe Menge von Hämatoporphyrin, so scheint dies dem Tiere durchaus nicht zu schaden. Es bleibt am Leben, vorausgesetzt, daß es nicht dem Lichte ausgesetzt war.

Hierbei ist unter Licht nicht etwa eine Lichtquelle von extremer Intensität zu verstehen. Schon das diffuse Tageslicht eines Frühjahrstages in Wien genügte völlig, um die so vorbehandelten Tiere zu töten. Es liegt hier wie bei photodynamisch wirkenden Substanzen überhaupt ein Fall von sogenannter „bedingter Giftigkeit“ vor. Weder Hämatoporphyrin, noch Licht von der genannten oder einer viel stärkeren Intensität sind allein imstande, die Tiere zu schädigen. Wird jedoch die Bedingung erfüllt, die nötig ist, damit Hämatoporphyrin giftig wirke, d. h. wenn zugleich mit dem Farbstoffe auch Licht auf die Tiere einwirkt, so kommt die Giftwirkung zustande.

Die akut verlaufenden Fälle dieser „Sensibilisationskrankheit“ zeigen folgenden Symptomenkomplex. Wenige Minuten nach dem Beginne der Belichtung weisen mit Hämatoporphyrin vorbehandelte Mäuse intensivste Reizerscheinungen seitens der Körperoberfläche auf. Die Tiere kratzen sich heftig und wälzen sich am Boden des Gefäßes, sehr oft werden alle zugänglichen Körperteile wütend benagt. Nach wenigen Minuten röten sich die Ohren, ebenso auch die Schnauze. Die Tiere sind lichtscheu, oft verkleben die Augenlider, doch geht diese Erscheinung häufig sehr rasch zurück. Nach einiger Zeit werden die Tiere matt, manchmal tritt Atemnot auf. Nun lassen die Reizerscheinungen nach und die Mäuse verenden, zuweilen unter den Erscheinungen des Starrkrampfes. Vom Beginne der Belichtung bis zum Eintritte des „Lichttodes“ vergehen bei diesen akut verlaufenden Fällen der Belichtungskrankheit in der Regel einige Stunden. Von Interesse ist, daß bei Tieren, die nach kurzer Belichtungsdauer einen schwer affizierten Eindruck machen, alle Symptome wie mit einem Schlage verschwinden, wenn man sie aus dem hellen Lichte ins Dunkle bringt. Natürlich gelingt dies nur, wenn die krankhaften Veränderungen nicht zu weit vorgeschritten waren.

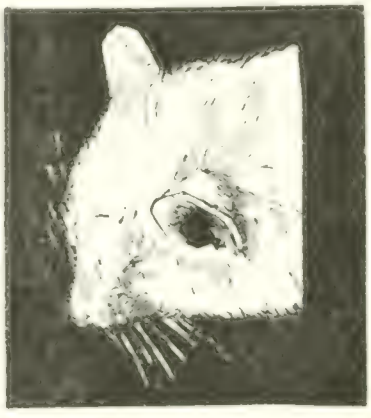
Bei den nicht so stürmisch verlaufenden Fällen treten die ungemein starken Ödeme (Wassersucht) der Haut bei den belichteten Tieren in den Vordergrund. Der Kopf erscheint mächtig gedunsen, der Nasenrücken ist stark gewölbt, die Augen liegen tief unter der Oberfläche, Brust-, Rücken- und Bauchhaut sind manchmal ungemein stark ödematös. In einem Falle betrug der Querschnitt durch die Brusthaut etwa das Sechs-

fache des Normalen. Die Hautödeme verändern das Aussehen der Tiere derart, daß eine Maus, die sich vor der Belichtung in keiner Beziehung von einer normalen unterscheidet, nach einigen Stunden den Eindruck macht, als ob sie einer anderen Tierspezies angehören würde. Nach 1 bis 2 Tagen pflegen diese Tiere einzugehen.

Ein derartiger Fall ist nachstehend wiedergegeben. Fig. 18 stellt den Kopf einer weißen Maus vor, einige Stunden, nachdem das Tier Hämatoporphyrin erhalten hatte. Die Maus war am 14. Juni 1910 um 4 Uhr nachmittags injiziert worden. Um 8 Uhr abends wurde die Maus bei ganz schwachem Dämmerlichte gezeichnet. Sogar dieses Licht von ganz geringer Intensität schien das Tier zu stören und bei Beendigung der Zeichnung begann es sich schon heftig zu kratzen. Nun wurde die Maus bis zum 16. Juni 1910 in völliger Dunkelheit gelassen. Als sie um 10 Uhr vormittags ins Licht gebracht wurde, machte sie einen völlig normalen Ein-

Fig. 18.

Fig. 19.



druck. Sie wurde nun bis um 4 Uhr nachmittags ins diffuse Tageslicht gestellt und im Verlaufe des Nachmittags nur durch 2 Minuten der Sonne exponiert. Um 6 Uhr abends wurde das Tier abermals gezeichnet und Fig. 19 zeigt nun die starke Anschwellung des Kopfes und die für diese Form der in Frage stehenden Sensibilisationskrankheit charakteristische Stellung der Ohren.

Gelingt es jedoch, bei Mäusen, die mit Hämatoporphyrin sensibilisiert waren, die Belichtung zwar so intensiv zu gestalten, daß die eben geschilderten Schwellungen auftreten, andrerseits jedoch die Lichtwirkung zu einem Zeitpunkte zu unterbrechen, in dem das Tier noch keine bis zum Tode führende Schädigung erlitten hat, so kann es zu einer chronischen, über Wochen und Monate sich erstreckenden Form dieser Lichtkrankheit kommen, die jedoch durchaus nicht konstant zum Ausbruche kommt, da es schwierig ist, den geeigneten Moment herauszufinden, in dem die Mitte zwischen

schwerer und noch nicht tödlicher Schädigung erfolgt ist. In diesen Fällen läßt nach einigen Tagen die Schwellung des Kopfes und des übrigen Körpers nach, aus den Ohren ist, trotzdem die Blutgefäße strotzend mit Blut gefüllt sind, kein Blut auszupressen. Sie sind rotbraun, pergamentartig und beim Einschneiden fließt aus den anscheinend völlig unempfindlichen Ohren kein Blut — mit anderen Worten: es ist zu trockenem Brande (Nekrose) der Ohren gekommen. Der abgestorbene Teil des Ohres fällt nach einiger Zeit ab. Ziemlich konstant tritt rings um die Augen herum Haarausfall ein, auch der übrige Körper weist manchmal sehr starken Haarverlust auf.

Fig. 20 zeigt ein derartiges Tier, welches 4 Tage nach der Injektion von Hämatoporphyrin im Dunkeln gehalten wurde, dann im diffusen Tageslichte in einem dickwandigen Gefäße in der Mitte eines Zimmers lebte, nach 4 Tagen waren die Ohren pergamentartig, nach weiteren 7 Tagen begannen sich die Ohren nahe ihrer Ansatzstelle in scharf abgegrenzter Linie abzutrennen, 2 Tage darauf hatte sich das linke Ohrläppchen fast ganz abgelöst und durch einen leichten Zug, den das Tier offenbar nicht empfand, gelang es, das ganze Ohrläppchen ohne Blutung abzuziehen. Auch der ringförmige Haarausfall um die Augen ist im Bilde zu erkennen.

Fig. 20.

Es drängt sich nun die Frage auf, woran sterben eigentlich die Tiere in den akut und subakut verlaufenden Fällen. Bei dieser Fragestellung muß auf die Analogie, die zwischen dem Verbrennungstode und dem hier geschilderten „Lichttode" besteht, nachdrücklich hingewiesen werden. Insbesonders jene Fälle, bei denen durch an sich geringfügige Brandwunden der Tod herbeigeführt wird, sind hier zum Vergleich heranzuziehen.

Zu denken ist jedenfalls auch an die Möglichkeit einer Shockwirkung, der die Tiere, die am ganzen Körper von intensivem Juckreiz gequält sind, erliegen. Auch wird sehr zu erwägen sein, ob wir es hier nicht mit Giften zu tun haben, die erst bei der Belichtung unter Wirkung des Hämatoporphyrins im Körper des Warmblüters gebildet werden, eine Annahme, die insbesondere *Hermann Pfeiffer* für den Verbrennungstod erwogen und auf Grund neuer Versuche auch auf den „Lichttod" sensibilisierter Tiere ausgedehnt hat. Dieser Autor, der auch starken Temperatursturz bei belichteter Hämatoporphyrintieren beobachtet hat, hält thermische und photodynamische Schädigung für wesensgleich.

Von Interesse ist, daß Hämatoporphyrin eine Maus noch letal zu sensibilisieren vermag, wenn weder im Blut und im Harn, noch in der Galle der Farbstoff mehr nachweisbar ist. Läßt man etwa 14 Tage zwischen

Verabreichung des Farbstoffes und der Belichtung vergehen, so tritt noch immer der Tod der Versuchstiere bei Belichtung auf, obwohl das Hämatoporphyrin nicht mehr in den genannten Absonderungen und noch weniger im Blute zu finden ist. Ich glaube am wahrscheinlichsten eine Bindung des Farbstoffes in der Haut annehmen zu können. Bei allzu langen Intervallen zwischen Injektion und Belichtung aber wird der Sensibilisator offenbar ganz ausgeschieden, denn dann kann man früher hochgradig sensibilisierte Tiere ohne Gefahr belichten.

Das Hämatoporphyrin gehört dem eben Gesagten zufolge zweifellos zu den intensivst wirkenden Sensibilisatoren, die wir bisher überhaupt kennen. Nur die weiter unten zu erörternde Wirkung der Buchweizenfütterung scheint ihr vergleichbar zu sein.

Von Interesse ist, daß der Farbstoff, dessen Wirkung eben besprochen wurde, sowohl unter normalen Verhältnissen gar nicht selten im Tierreiche vorkommt, von vielleicht größerer Bedeutung ist es, daß Hämatoporphyrin auch unter pathologischen Bedingungen in zuweilen großer Menge bei einer Reihe von Erkrankungen auftritt, darunter bei einer solchen, die in ursächlichem Zusammenhange mit Belichtung steht.

Von *Garrod* wurde gezeigt, daß der Farbstoff wahrscheinlich in jedem Urin des Menschen, wenn auch nur in Spuren vorkommt, dasselbe Verhalten ist auch vom Kaninchenharn bekannt.

Auch bei niederen Tieren ist Hämatoporphyrin nachgewiesen worden, *Mac Munn* hat es unter anderem in dem Integumente von Schnecken nachgewiesen. In bräunlich rotgefärbten Seesternen fand dieser Autor Hämatoporphyrin auch mit einem Begleitfarbstoff, Tretonerythrin, auch konnte er den Farbstoff des purpurbraunen Streifens an der Dorsalseite des Regenwurmes mit Hämatoporphyrin identifizieren.

Der so intensiv wirkende Sensibilisator, das Hämatoporphyrin, ist demnach ein im Tierreich nicht selten vorkommendes Pigment.

Es ist demnach sehr wohl möglich, daß das Hämatoporphyrin oder ein anderer im Tierkörper vorkommender Sensibilisator unter normalen Verhältnissen bei Einwirkung des Lichtes auf den Tierkörper irgend eine Rolle zu spielen berufen ist.

Auch unter pathologischen Verhältnissen scheint die Mitwirkung der sensibilisierenden Wirkung dieses Farbstoffes von Bedeutung zu sein. In erster Linie kommt hier in Betracht eine unter dem Namen Hydroa aestiva bekannte Hautaffektion, die mit der Belichtung integrierend zusammenhängt und bei deren Auftreten im Harne sehr häufig bedeutende Hämatoporphyrinmengen nachgewiesen werden, derart, daß die Harne oft tiefdunkelrot erscheinen. *Ehrmann* hat, ausgehend von der Kenntnis der sensibilisierenden Wirkung des Hämatoporphyrins, zuerst in interessanten Ausführungen darauf hingewiesen, daß es sich bei dieser Krankheit möglicherweise um Sensibilisierung durch diesen Farbstoff handelt. Diese An-

schauung erscheint mindestens für jene Fälle, in denen Hämatoporphyrin zugleich mit der Eruption des Exanthems im Harne auftritt, gerechtfertigt. Gestützt wird diese Annahme durch die schönen Untersuchungen von *Perutz*. In diesen Versuchen wurden Kaninchen mit Sulfonal vergiftet, um Hämatoporphyrinurie zu erzeugen. Diese Tiere reagierten in der Tat bei Belichtung weit intensiver, als dies normale Kaninchen tun. Neuerdings haben *H. Königstein* und *L. Hess* bei einer Erkrankung der Leber und Milz, die mit Hämatoporphyrinausscheidung einherging, nekrotische Stellen im Gesichte und an einem Finger des Patienten nachgewiesen. Die Autoren nehmen an, daß diese Nekrosen, die an Stellen entstanden waren, die dem Lichte ausgesetzt sind, auf die sensibilisierende Wirkung dieses Farbstoffes zurückzuführen sind.

Im Anschluß an die Mitteilungen des Verf. über die photodynamische Wirkung des Hämatoporphyrins hat *Goetzl* auch bei chronischer Bleivergiftung, die bekanntlich öfters auch mit Hämatoporphyrinurie einhergeht, ebenfalls erhöhte Lichtempfindlichkeit nachweisen können.

Abgesehen von Hämatoporphyrin hat auch die tierische Galle im Lichte stärker blutkörperchenlösende und Infusorien abtötende Eigenschaften, als dies im Dunkeln der Fall ist *(Hausmann)*. Auch besitzt tierische Galle im Lichte die Eigenschaft, Toxine, wie Diphtherietoxin, Tetanustoxin, unwirksam zu machen, während dies im Dunkeln weit weniger geschieht, ebenso wie durch Galle auch Antitoxine im Lichte unwirksam gemacht werden können *(Hausmann* und *Pribram)*. Es ist demnach eine vom tierischen Organismus produzierte Substanz imstande, im Lichte für ihn deletäre Stoffe zu vernichten. Ebenso können, wie aus der Zerstörung von Antitoxinen durch Galle bei Belichtung hervorgeht, Schutzstoffe, welche der Organismus selbst produziert hat, unter Anwesenheit von dem Tierkörper entstammenden Sensibilisatoren im Lichte wirkungslos gemacht werden.

Es sei noch kurz bemerkt, daß der Blutfarbstoff, dem das Blut der Menschen und der höheren Tiere seine rote Farbe verdankt, das Oxyhämoglobin, ebenso wie das noch eisenhältige Derivat des Hämoglobins, das Hämatin, keine sensibilisierende Kraft im Sinne einer photodynamischen Wirkung besitzen (nicht veröffentlichte Untersuchung).

Wie schon eingangs bemerkt, muß der Nachweis photodynamischer Eigenschaften bei tierischen Farbstoffen bei jeder biologischen Lichtwirkung an die Möglichkeit derartiger Lichtüberträger denken lassen.

Dies geht aus den grundlegenden Arbeiten *Hertels* hervor, der unter anderem die Wirkung verschiedener Strahlen auf die großen Chromatophoren verschiedener Cephalopoden untersuchte. *Hertel* konnte zeigen, daß durch ultraviolette Strahlen gelbe und rote Chromatophoren zur Bewegung veranlaßt werden. Die blauen Strahlen wirkten jedoch nur auf gelbe, die gelben nur auf rote Zellen, entsprechend den von *Hertel* bestimmten Ab-

sorptionsbändern der Zellen. Auch konnte *Hertel* den pigmentierten Bauchstrang von Sipunculus nudus durch blaue und gelbe Strahlen erregen, während dies beim unpigmentierten Bauchstrange des Regenwurmes nicht der Fall ist. Diese Beobachtungen sind ebenso wie die von *Steinach* und *Hertel* nachgewiesene Einwirkung des Lichtes auf die pigmentierte Iris im Sinne einer Sensibilisation durch dem Tierkörper entstammende Farbstoffe gedeutet worden.

Auch ist an die Möglichkeit zu denken, daß besonders bei der Wirkung des Lichtes im Hochgebirge vom Organismus produzierte Sensibilisatoren im Spiele sind. Die glänzenden Heilresultate *Rolliers* in Leysin bei Tuberkulose der Gelenke und andere tuberkulösen Affektionen sind in der Tat auch dann am deutlichsten beobachtet worden, wenn durch die Bestrahlung starke Pigmentierung hervorgerufen wird. Solche Pigmente könnten dem Gesagten zufolge auch Sensibilisatoren sein.

Ebenso wie eine Sensibilisation durch tierische Farbstoffe selbst zustande kommen kann, ist zu bedenken, daß ein von außen mit der Nahrung eingeführter optischer Sensibilisator die tierischen Gewebe lichtempfindlich zu machen vermag. Wie aus den gleich folgenden Zeilen hervorgeht, nehmen die Herbi- und Omnivoren mit chlorophyllhaltigen Pflanzen photodynamisch wirkende Körper in großer Menge zu sich und diese könnten dann ebenso wie von den Tieren selbst produzierte Sensibilisatoren wirksam sein. Unter gewöhnlichen Umständen kann es sich hier wohl nur um minimale, durch solche Körper im Lichte ausgeübte Reizwirkungen handeln, daß es aber durch Sensibilisatoren, die mit der Nahrung eingeführt werden, auch zu schweren Lichtkrankheiten kommen kann, lehren die Buchweizenvergiftung und andere Sensibilisationskrankheiten, auf die später eingegangen werden soll.

Es gelingt sehr leicht nachzuweisen, daß alle grünen Pflanzen in Alkohol lösliche photodynamisch wirkende Substanzen enthalten, wobei wir das **Chlorophyll** zu mindest als einen der in Betracht kommenden Sensibilisatoren betrachten müssen *(Hausmann)*. Zerquetscht man grüne Blätter, etwa von Daucus carota, in kaltem Methylalkohol und filtriert nach einiger Zeit die alkoholische Flüssigkeit, so erhält man die bekannten grünen Lösungen von Rohchlorophyll, die intensiv rot fluorescieren. Als Extraktionsmittel der Blätter wählt man am besten ganz reinen Methylalkohol, falls man weiterhin mit roten Blutkörperchen arbeiten will, da für diese Methylalkohol ungleich weniger giftig ist als Äthylalkohol. Im Dunkeln wird nun eine Aufschwemmung roter Blutkörperchen durch eine derartige Blattgrünlösung durchaus nicht verändert, wenn nicht gar zu viel zugesetzt wurde, so daß der Alkohol an sich schädigend wirkt. Die Erythrocyten setzen sich langsam im Reagenzröhrchen zu Boden, und sind scheinbar ungeschädigt — vorausgesetzt, daß man sie im Dunkeln

oder zumindest nicht im hellen Lichte stehen ließ. Belichtet man jedoch eine derartige Flüssigkeit (Blutkörperchen + Rohchlorophyllösung) unter entsprechender Kühlung im Sonnenlichte oder im Lichte einer Bogenlampe, so wird die undurchsichtige Aufschwemmung der roten Blutkörperchen bald durchscheinend, die Blutkörperchen sind zerstört, es tritt Hämolyse auf. Der methylalkoholische Blätterextrakt hat demnach photodynamische Wirkung auf die roten Blutkörperchen ausgeübt. Genau so, wie der eben geschilderte Versuch, verlaufen alle, die mit Extrakten irgend einer grünen, also chlorophyllhaltigen Pflanze angestellt sind. Auch mit Infusorien läßt sich die sensibilisierende Wirkung der alkoholischen chlorophyllhaltigen Pflanzenextrakte ohne weiteres nachweisen, da sich die Paramäcien, an denen diese Versuche ausgeführt wurden, ungemein resistent gegen Alkohol verhielten. Es läßt sich leicht demonstrieren, daß die alkoholischen grünen Blätterextrakte einen optischen Sensibilisator, der hauptsächlich im langwelligen Bereich des Spektrums wirkt, etwa um 600 $\mu\mu$, enthalten, daß weder Vorbelichtung der Objekte noch allzu langer Lichteinfluß auf die Blattlösungen diese photodynamische Wirkung beeinflußt.

Es konnte weiters gezeigt werden, daß das krystallisierte Chlorophyll *Willstätters* einen der intensivst wirkenden photobiologischen Sensibilisatoren darstellt, der überhaupt bekannt geworden ist. Selbst im Lichte eines trüben Januartages ist eine Lösung von krystallisiertem Chlorophyll noch in einer Verdünnung von 1 : 3,000.000 wirksam. Daß also sowohl die alkoholischen grünen Blätterauszüge, als auch das krystallisierte Chlorophyll *Willstätters* optische Sensibilisatoren im Sinne *v. Tappeiners* darstellen, steht außer allem Zweifel.

Viel schwieriger ist die Frage zu lösen, ob das Chlorophyll in den Pflanzen resp. im Chloroplasten in einer derartigen Form enthalten ist, daß es unter Einwirkung des Lichtes auf photodynamische Weise wirksam sein könnte. Die Beteiligung des Chlorophylls bei der Kohlensäureassimilation grüner Pflanzen an sich ist ja eine Tatsache, die außer jedem Zweifel steht. Unter dem Einflusse des Lichtes verwerten die grünen Pflanzenteile die Kohlensäure der Atmosphäre und geben Sauerstoff ab. In welcher Weise das Chlorophyll bei dieser photosynthetischen Assimilation der Kohlensäure tätig ist, scheint bisher völlig unklar zu sein. Feststehend ist, daß alkoholische Chlorophyllösungen keine Kohlensäureassimilation zu leisten vermögen, ebenso sicher ist es bewiesen, daß man durch diese Lösungen photographische Platten zu sensibilisieren vermag *(Becquerel)* und daß sie gleichfalls — wie eben besprochen — photobiologisch zu sensibilisieren vermögen. An eine Mitwirkung der sensibilisierenden Wirkung des Chlorophylls im Sinne eines photographischen Sensibilisators haben in Anlehnung an *Becquerels* Befunde besonders *Timiriazeff* und *Engelmann* gedacht.

Die Möglichkeit, daß Chlorophyll als photodynamisch wirkender Lichtüberträger in den Mechanismus der Kohlensäureassimilation eingreife, ist

zuerst von *v. Tappeiner* erwogen, durch die experimentellen Untersuchungen des Verfassers nachgewiesen worden. Es scheint, als wäre eine sensibilisierende Wirkung des Chlorophylls bei der Assimilation der Pflanzen überhaupt angenommen, eher denkbar, daß das Blattgrün als photobiologischer Sensibilisator als nach Art der Sensibilisatoren in der Photographie wirkt, vorausgesetzt, daß ein prinzipieller Gegensatz zwischen beiden Arten optischer Sensibilisation überhaupt besteht.

*Jost* hat der photographischen Sensibilisationstheorie des Chlorophylls entgegengehalten, daß man die Einwirkung des Chlorophylls auf den an sich nicht assimilationsfähigen Chloroplasten nicht mit der Sensibilisierung lichtempfindlicher Platten vergleichen dürfe, da hier die lichtempfindliche Substanz mit dem an sich lichtunempfindlichen ungefärbten Chloroplasten verglichen wurde. Dieser Einwand entfällt bei der Annahme einer photodynamischen Wirkung des Chlorophylls in der Pflanze, denn hier ist es nur nötig, daß das Chlorophyll als Energieüberträger wirkt. Ein anderes lichtempfindliches Substrat ist nicht nötig und in der Tat auch nicht vorhanden.

Die Möglichkeit einer photodynamischen Wirkung des Chlorophylls in der Pflanze ist ferner deshalb gegeben, da sich diese Lichtwirkung des Chlorophylls in den roten Strahlenbezirken abspielt, in denen die Assimilation der Pflanzen zu einem großen Teile stattfindet. Ob die Begleitfarbstoffe des Chlorophylls in der Pflanze nicht Sensibilisatoren für die stärker gebrochenen (blauen) Strahlen darstellen, wäre noch festzustellen. Es wäre dies wohl denkbar, da die Annahme *Engelmanns* von dem Assimilationsmaximum im Blau auch durch die neueren Untersuchungen von *Kniep* und *Minder* sehr an Wahrscheinlichkeit gewonnen hat.

Jedenfalls aber müßte sich die photodynamische Wirkung des Chlorophylls nur in ganz ungemein abgeschwächter Form im Chloroplasten der Pflanze abspielen, denn derart deletäre Wirkungen, wie etwa der alkoholische Chlorophyllextrakt im Reagenzglas bei Belichtung auszuüben vermag, wären mit dem Ablaufe der normalen Lebensfunktionen der Pflanze völlig unvereinbar. Doch wäre es möglich, daß das Chlorophyll, welches im Chloroplasten seine giftigen Eigenschaften im Lichte nicht voll entfalten kann, hier Reizwirkungen ausübt, welche die photosynthetische Assimilation grüner Pflanzen auslösen. Es ist ja eine bekannte Tatsache, daß viele Gifte — und als ein solches müssen wir wohl das Chlorophyll im Lichte auffassen — in großer Verdünnung anregend und reizend zu wirken vermögen, während sie in größerer Konzentration töten können.

Die Untersuchung nicht oder nur wenig chlorophyllhaltiger Pflanzenbestandteile ergab naturgemäß verschiedene Resultate in bezug auf das Vorhandensein von sensibilisierenden Substanzen.

In etiolierten Pflanzen, die bei vollkommenem Lichtabschluß gehalten worden waren, konnte ebenfalls ein photobiologischer Sensibilisator

nachgewiesen werden *(Hausmann* und *v. Portheim)*. Ob es sich in diesem Falle um minimale Chlorophyllmengen oder um das von *Timiriazeff* beschriebene fluorescierende Protochlorophyll gehandelt hat, ist schwer zu entscheiden.

Von Interesse scheint es mir zu sein, daß zwei Hauptrepräsentanten der Fluorescenz im Pflanzenreiche, Phycoerythrin und Phycocyan, allem Anscheine nach nicht die Spur von photodynamischer Wirkung aufweisen (unveröffentlichte Untersuchung).

Phycoerythrin, der Farbstoff der Rotalgen, ist in seinen wässerigen Lösungen im durchfallenden Lichte carminrot, im auffallenden Lichte zeigt die Phycoerythrinlösung eine prachtvolle orangegelbe Fluorescenz. Die Lösungen von Phycocyan, des Farbstoffes der Blaualgen, sind im durchfallenden Lichte blau und fluorescieren intensiv rot. Trotz dieser ausgesprochenen Fluorescenz vermag man durch Auszüge solcher Algen weder Paramäcien im Lichte zu töten, noch Blutkörperchen auch nicht bei intensivster Bestrahlung zu zerstören. Die Erklärungen dieses Verhaltens sind in der Eiweißnatur dieser Farbstoffe gegeben. Durch *Busk*s (1) Untersuchungen wissen wir, daß man durch Zusatz von Eiweißkörpern zu photodynamisch wirkenden Substanzen die Lichtwirkung dieser letzteren aufzuheben vermag.

Nun sind Phycoerythrin und Phycocyan Farbstoffe, die aus Eiweiß und einer farbigen Komponente, die kein Metall enthält, zusammengesetzt sind, wie dies von *Molisch* und *v. Harald Kylin* nachgewiesen wurde. Vielleicht — oder sogar wahrscheinlich — würde dieser farbige Anteil allein sensibilisierend zu wirken vermögen. Wie er aber allem Anscheine nach jedoch in der Natur vorkommt, ist dies nicht der Fall.

Die Blütenfarbstoffe scheinen im allgemeinen nicht photodynamische Eigenschaften zu haben; es war dies auch anzunehmen, da sie in der Regel nicht fluorescieren. Daß es aber auch photodynamisch wirkende Blütenfarbstoffe geben dürfte, scheint sicher zu sein.

Von sonstigen Farbstoffen seien noch die des Bact. pyocyaneum *(Jodlbauer* und *v. Tappeiner)* und des B. prodigiosus erwähnt, die ebenfalls Blut und Paramäcien zu sensibilisieren vermögen.

---

Wir streiften oben die Frage, ob sich nicht insbesondere herbivore Tiere, die ja photodynamisch wirkende Körper mit der Nahrung in größter Menge zu sich nehmen, hierdurch für Licht sensibilisieren, auch wurde kurz darauf hingewiesen, daß durch Verfütterung gewisser Pflanzen direkte „Sensibilisationskrankheiten“ *(Hausmann)* (3) entstehen. Auf diese letzteren soll näher eingegangen werden.

Eine optische Sensibilisationskrankheit kann fürs erste zustande kommen, wenn sensibilisierende Substanzen dem Körper mit der Nahrung von außen zugeführt werden (exogene Sensibilisation). Dieser Fall liegt wohl bei der Mehrzahl solcher bisher beobachteter Krankheitsformen vor.

Es ist aber auch denkbar, daß unter dem Einfluß von Giften oder bei anderen pathologischen Prozessen im Organismus Sensibilisatoren entstehen, die erst sekundär

zur Lichtempfindlichkeit führen, hier wäre wohl die Sulfonal- und Bleivergiftung, vielleicht auch die Hautkrankheit Hydroa aestiva zu erwähnen (endogene Sensibilisation).

Beide Arten von Sensibilisationen könnten ohne weiteres auch nebeneinander auftreten.

Eine Erkrankung der landwirtschaftlichen Haustiere, die heute wohl allgemein als Sensibilisationskrankheit aufgefaßt wird, ist die Buchweizenkrankheit (Fagopyrismus); sie ist eine der häufiger vorkommenden Affektionen, die sicher mit der Belichtung zusammenhängen.

Es ist schon seit langer Zeit in der landwirtschaftlichen und tierärztlichen Literatur darauf hingewiesen worden, daß gewisse Rinder, Schweine, Schafe etc., welche Buchweizenpflanzen (Polygonum fagopyrum s. fagopyrum esculentum) oder Buchweizenkörner fressen, unter ganz typischen Erscheinungen erkranken können, wenn sie den Sonnenstrahlen ausgesetzt werden, während diese Tiere im Dunkeln vollkommen gesund bleiben. Als exquisite Lichtkrankheit ist der Fagopyrismus besonders dadurch charakterisiert, daß er nur die nicht pigmentierten Tiere ergreift. Dunkel gefärbte Tiere bleiben verschont, bei den gefleckten Tieren ist der gleich zu beschreibende Buchweizenausschlag nur auf die nicht pigmentierten Körperstellen lokalisiert, während die dunklen Hautstellen intakt bleiben. Auch die Verunreinigung weißer Hautstellen durch Staub und Schmutz genügt, um einen gewissen Schutz gegen die Lichtstrahlen bei Tieren zu gewähren, die Buchweizen gefressen haben. Zum Zustandekommen der Buchweizenkrankheit scheint eine relativ große Lichtintensität nötig zu sein. Der Aufenthalt im Freien bei trüber Witterung genügt nicht, um die Symptome entstehen zu lassen.

Der Fagopyrismus kann sich auf eine leichte Hauterkrankung beschränken, ebensogut jedoch ist es möglich, daß zum Tode führende Allgemeinerscheinungen sich einstellen. In den leichten Fällen kommt es lediglich zu starker Rötung und Schwellung der betroffenen Hautpartien, daneben besteht starker Juckreiz.

Die schweren Affektionen zeigen das Bild einer erysipelatösen Hautentzündung. Die stark gerötete Haut schwillt an, die Ohren hängen schlaff herab. In diesen Fällen bilden sich auf der Haut Bläschen mit klarem Inhalte, die bersten und nässende Flächen entstehen lassen, die sich nach Eintrocknung des Sekretes mit Krusten bedecken. Bei solchen stärker ausgesprochenen Erkrankungen ist sehr heftiger Juckreiz vorhanden, wie man aus dem Reiben der Tiere an festen Gegenständen, Schütteln des Kopfes etc. annehmen kann. Nicht selten werden Aufregungszustände beobachtet, die Tiere laufen unruhig hin und her, springen wild herum, führen wohl auch Zwangsbewegungen aus. Bei einem längere Zeit mit Buchweizensamen gefütterten Meerschweinchen beobachtete ich, nachdem es einige Zeit den Sonnenstrahlen ausgesetzt war, ganz ungemein heftige Drehbewegungen. Das Tier drehte sich wie rasend in seinem Glaskäfig um sich selbst und

zertrümmerte mit einer kleinen Porzellanfutterschale das dickwandige Glas seines Käfigs. Gar nicht selten sind, wie schon bemerkt, auch Todesfälle von Haustieren bei Fagopyrismus beobachtet worden.

Von größtem Interesse ist es, daß die Buchweizenfütterung eine Lichtempfindlichkeit bedingt, die noch ziemlich lange nach dem Aussetzen dieser Nahrung anhält. Man hat den Fagopyrismus noch 3—4 Wochen nach der letzten Verabreichung des Buchweizens sich ausbilden sehen, wenn die Tiere sich in der Zwischenzeit im dunklen Stalle befanden oder nur bei trübem Wetter die Weide begingen. Deshalb wird auch in der Regel einige Wochen vor dem Weidebeginn die Buchweizenfütterung von erfahrenen Landwirten eingestellt, denn nur so ist es mit Sicherheit möglich, die Tiere vor dieser Erkrankung zu bewahren.

Die Kenntnis dieser merkwürdigen Affektion ist eine sehr alte, man kannte sie schon, bevor man darauf aufmerksam geworden war, daß das Licht dabei eine Rolle spielt. *Spinola* hat aber schon im Jahre 1842 gewußt, daß sowohl die Belichtung wie auch die weiße Farbe der Tiere zum Zustandekommen des Fagopyrismus gehören. Er schreibt: „Zu den bekannten Ursachen des Schwindels bei Schweinen ist auch noch der Buchweizen zu zählen, dessen Genuß sonderbar genug (!) nur auf weiße und weißbunte Schweine und nur unter Mitwirkung des Sonnenlichtes nachteilig wirkt, während er sich für schwarze Schweine unschädlich zeigt; die Ursache dies im ganzen merkwürdigen Phänomens ist noch nicht ermittelt."

Eine allerdings viel spätere Beobachtung eines westpreußischen Landwirtes *M. Wedding* hat die Kenntnis des Fagopyrismus wesentlich gefördert. Dieser Beobachter sah neben anderen ebenfalls schon bekannten Tatsachen, daß die Krankheit um so heftiger auftritt, je heller ein Tier ist. Von großer Bedeutung ist ein Versuch *Weddings* an einer mit Buchweizen gefütterten weißen Kuh, die zur Hälfte mit Teer angestrichen war. Während die weißen Hautpartien erkrankten, blieb die geschwärzte Haut gesund.

Nachstehend seien zur Illustration des eben Gesagten nur zwei Fälle aus der großen Zahl der bekannten Buchweizenerkrankungen mitgeteilt *(Glocke)*. Es handelte sich in dem einen Falle um eine aus 48 Lämmern bestehende Herde, die im Stalle Buchweizen erhalten hatten und schon vier Wochen lang mit dem genannten Futter ernährt worden waren. An einem hellen und warmen Tage traten plötzlich die Krankheitssymptome auf, nachdem die Tiere schon acht Tage lang bei unfreundlicher trüber Witterung im Freien gewesen waren. Es zeigte sich vor allem ausgedehnte Schwellung und Rötung auf den äußeren Ohrmuscheln. Bei einigen Tieren traten diese Schwellungen so stark auf, daß die Ohren schlaff herabhingen, das Allgemeinbefinden der Lämmer war nicht gestört, drei schwarze Lämmer blieben gesund. Es hat sich demnach hier um

die leichteste Form des Fagopyrismus gehandelt. Ähnlich und in der Beschreibung ganz ungemein an die Sensibilisation durch Hämatoporphyrin erinnernd, ist eine von *Klein* beschriebene Erkrankung einer Schafherde, die an mehreren klaren und heißen Tagen auf einem Buchweizenfelde gehütet worden war. In diesen Fällen traten „rote und schmerzhafte Kopf- und Gesichtsschwellungen auf, dabei seien die Ohren ganz steif und die Konjunktiven ramiform gerötet und ödematös geschwollen gewesen. Auf den Lippen hätte sich ein pustulöser Ausschlag gebildet. Auch hätten die Tiere starke Hirndepression verraten, wären nach hin und her taumeln mit der Nachhand zusammengebrochen und hätten krampfhafte Zuckungen am ganzen Körper gezeigt. Verluste wurden nicht beobachtet".

Die eben mitgeteilten Beobachtungen betreffen demnach leichte und mittelschwere Erkrankungen.

Die Ätiologie des Fagopyrismus ist wohl als ziemlich klargestellt zu betrachten, wir können mit einiger Bestimmtheit annehmen, daß es sich um eine optische Sensibilisationskrankheit exogener Natur handelt.

Man hatte früher angenommen, daß die Ursache der Buchweizenkrankheit niedere Organismen seien, welche auf der Pflanze schmarotzen. Man nahm ferner an, daß diese Lebewesen unter dem Einfluß des Sonnenlichtes befähigt werden, sich in die Haut einzubohren, auch die Körperoberfläche sei durch die Sonne aufnahmsfähiger gemacht.

So viel mir bekannt ist, hat zuerst *Finsen* bei der in Frage stehenden Krankheit an eine Art von optischer Sensibilisierung gedacht. In seiner ersten Mitteilung über den Einfluß des Tageslichtes auf den Verlauf der Variola vergleicht *Finsen* die Lichtempfindlichkeit der Haut von Tieren, welche Buchweizen erhalten haben, mit der Lichtempfindlichkeit der Pockenkranken. Er schreibt: „Wir sehen also, daß die Haut in einen so empfindlichen Zustand gebracht werden kann, daß selbst die geringen Lichtmengen, die unter normalen Umständen ohne irgend welche sichtbare Wirkung sind, bedeutende Affektionen hervorrufen können."

Auch *H. v. Tappeiner* hatte gleich in seiner ersten Arbeit auf dem Gebiete der Photodynamie darauf hingewiesen, daß die Buchweizenerkrankung durch die Aufnahme fluorescierender Stoffe aus dem Futter bei nachfolgender Belichtung zustande kommen könne. In der Tat scheint nach der Entdeckung der photodynamischen Substanzen durch diesen Autor jede andere Erklärung hinfällig geworden zu sein.

Daß es sich um eine Sensibilisation handelt, geht zunächst aus der großen Übereinstimmung mit experimenteller Sensibilisation, etwa durch Hämatoporphyrin, hervor. Das bei dieser fehlende Symptom der pustulösen Hauterkrankung hat *J. Fischer* bei experimentellem Fagopyrismus bei Maus, Meerschweinchen und Kaninchen ebenfalls vermißt. Die Schilderung *Fischers* von dem Juckreiz von „Buchweizentieren" und dem ganzen Symptomenkomplex ist eine solche, daß sie ohne weiteres mit dem Bilde der experi-

mentellen Lichtkrankheit nach Hämatoporphyrinverabreichung verwechselt werden könnte.

Beweisend für die Annahme eines besonders in der Haut deponierten Sensibilisators scheint auch der Umstand zu sein, daß durch intensive Belichtung einer kleinen Hautpartie mit Finsenlicht bei Kaninchen die mit Buchweizenkörnern gefüttert waren, eine heftigere Reaktion (Hyperämie, Ödem) hervorgerufen werden konnte, als bei normalen Tieren bei derselben Belichtung (unveröffentlichte Untersuchung), ein Verhalten, welches ebenfalls bei experimenteller Sensibilisation beobachtet wird.

Der Farbstoff, welcher den Fagopyrismus hervorruft, ist alkohollöslich. *Oehmke* hatte unter Leitung von *N. Zuntz* gezeigt, daß bei Verfütterung von Buchweizen an weiße Mäuse, hellfarbige Meerschweinchen und Kaninchen die in der Literatur beschriebenen Affektionen im Lichte auftreten.

Durch Alkohol extrahierter Buchweizen ist bei belichteten und unbelichteten Tieren wirkungslos. Der alkoholische Extrakt des Buchweizens zeigt nach *Oehmke* deutliche Fluorescenz und der aus diesem Extrakt durch Verdampfen im Vakuum gewonnene Rückstand war, weißen Mäusen per os gegeben, imstande, belichtete Tiere unter Lähmungserscheinungen zu töten. Auch *Fischer* ist zu ganz ähnlichen Resultaten gelangt, er gibt an, den Farbstoff in feinen Nadelglobuliten erhalten zu haben.

Nach *Busk* (20) steht ein fluorescierender Farbstoff, „Fluorophyll", der aus Buchweizen erhalten wurde, dem Chlorophyllan *Hoppe-Seylers* nahe, ohne mit ihm identisch zu sein.

Es ist jedenfalls sehr merkwürdig und wohl zum Teil durch Resorptionsverhältnisse zu erklären, daß ein dem Chlorophyll nahestehender Körper, der insbesondere ihm in seinen Löslichkeitsbedingungen gleicht, im tierischen Organismus offenbar durch seine selektive Fähigkeit, von der Haut aufgenommen zu werden, als Sensibilisator wirken kann, während Chlorophyll selbst, welches wir in vitro als intensiven Sensibilisator kennen lernten, diese Eigenschaft im Organismus — wir können wohl sagen glücklicherweise — nicht ausübt.

Daß übrigens optische Sensibilisationskrankheiten auch bei Verabreichung anderer Pflanzen, wenn auch vereinzelt vorkommen, scheint mir außer Zweifel zu stehen. Eine solche Affektion ist wohl auch die Kleekrankheit, die bei Pferden, seltener bei Rindern, beobachtet wurde, wenn ausschließlich schwedischer Klee (Trifolium hybridum) verfüttert wurde *(Fröhner)*. Möglicherweise wird die Erkrankung durch Rostpilze, die den Klee befallen, hervorgerufen. Die Veränderungen, die an den mit weißen Abzeichen versehenen Kopfpartien und ebensolchen Stellen der Gliedmaßen auftreten, wären mit der Annahme, daß hier eine photodynamisch wirkende Substanz im Spiele ist, wohl vereinbar.

Es entstehen nach *Fröhner* an den weißen Partien gelbliche, an einzelnen Stellen mit Blasen besetzte und allmählich durch Mumifika-

tion sich abstoßende Flecken, welche sehr schmerzhaft sind. Ähnliche Prozesse werden nach demselben Autor auch bei der Lupinose der Schafe beobachtet.

Eine Reihe anderer Affektionen, die aus der Tierpathologie bekannt sind, beruhen wohl ebenfalls auf optischer Sensibilisation. Dies trifft insbesondere für die Wirkung von Hypericum crispum (krauses Hartheu aus der Familie der Hypericineae) auf weiße Schafe zu. Ich entnehme diese Angabe einer Arbeit *Heusingers* aus dem Jahre 1846 über die verschiedenartige Wirkung gewisser äußerer Einflüsse auf verschieden gefärbte Tiere. Da das Zitat relativ schwer zugänglich ist, so seien die Ausführungen *Heusingers* zum Teil wörtlich wiedergegeben.

„Die erste gewöhnlich für unglaublich erklärte Beobachtung über die verschiedenartige Wirkung einer Pflanze auf schwarze und weiße Schafe wurde aus Neapel mitgeteilt. Schon *Cyrillo* (Fundam. botanic., pag. 125), später *Marinosci de Martina di Lecce* (Atti de real. istituto d'incorrag. alle szienze nat., pag. II, 322, 377) teilen mit, daß in Sizilien und Neapel das Hypericum crispum, dort Fumulo genannt, den Schafen, wenn sie davon fressen, schädlich, ja tödlich werde, die Wolle fällt aus, der Kopf schwillt an und sie sterben nach zwei Wochen. Jedoch nur die weißen Schafe leiden davon, nicht die schwarzen. Daher zieht man in Tarentino, wo die Pflanze häufig wächst, nur schwarze Schafe. *Lecce* fügt hinzu, die Pflanze schade nur dann, wenn sie an sumpfigen Stellen wachse."

Zu diesen Angaben möchte ich nur kurz bemerken, daß die Unempfindlichkeit der schwarzen Schafe, die Empfänglichkeit der weißen, insbesondere die für optische Sensibilisation von Warmblütern typische Schwellung des Kopfes für die Wirkung photodynamischer Substanzen spricht. Daß es sich um eine Sensibilisation durch einen fluorescierenden Körper handelt, wird insbesondere dadurch wahrscheinlich, weil die Hypericinaeen einen gelben Farbstoff in großer Menge enthalten *(D. A. Rosenthal)*.

Eine andere Affektion, die ebenfalls von *Heusinger* zitiert wird, können wir auch mit großer Wahrscheinlichkeit auf photobiologische Sensibilisation zurückführen.

Nach *Heusinger* hat *Steiner* (Magazin für Tierheilkunde, Bd. 9, S. 53) folgendes in Ostpreußen beobachtet: „In drei Kreisen wurden im Anfange eines Sommers auf einer Seite eines Höhenzuges alle Leguminosen und besonders die Futterwicken von Mehl- oder Honigtau befallen. Darauf erkrankten in diesem ganzen Landstriche alle weißen oder mit weißen Abzeichen versehenen Pferde, welche mit diesem Futter genährt wurden; nämlich alle weißen Hautstellen wurden von einer Entzündung befallen, die in Gangrän überging. Die Hautstücke fielen aus und wurden regeneriert, aber auch nicht der kleinste Teil der dunkel gefärbten Haut er-

krankte und alle Pferde, welche von diesem Futter nichts bekommen hatten, blieben gesund."

Dieselbe Beobachtung wurde von *Schrebe* in Pommern gemacht. Auch hier wurden Anfang der vierziger Jahre des vorigen Jahrhunderts die Futterkräuter von Honig- oder Mehltau befallen und es erkrankten auch hier alle weißen oder weißgezeichneten Pferde auf die oben beschriebene Art, so daß auch nicht das kleinste weiße Abzeichen gesund blieb. Diese Beobachtung unterscheidet sich von der vorigen dadurch, daß die braunen und schwarzen Tiere, deren Haut durchaus nicht erkrankte, von einer heftigen, einer katarrhalisch ähnlichen Augenentzündung befallen wurden. Eine ganz ähnliche Krankheit der Haut und aus derselben Ursache wurde von *Burmester* im Jahre 1842 in Anklam beobachtet.

Schließlich werden von *Heusinger* noch Fälle zitiert über Beobachtungen bei einigen weiß und schwarz gefleckten Kühen. Nach starker Besonnung wurden die weißen Stellen nekrotisch, während auch die kleinsten schwarzen Flecken unversehrt geblieben waren.

Eine interessante Beobachtung *Wymans* wird von *Darwin* mitgeteilt.

*Wyman* hatte auf seine an einige Farmer in Florida gerichtete Frage, woher es komme, daß alle ihre Schweine schwarz seien, die Antwort erhalten, daß die Schweine die Farbwurzel (Lachnanthes) fräßen, diese färbe ihre Knochen rosa und mache außer bei den schwarzen Varietäten derselben die Hufe abfallen; die Farmer wählen sogar nur die schwarzen Glieder eines Wurfes zum Aufziehen aus, weil sie allein Aussicht auf Gedeihen geben. Allem Anscheine nach hat es sich auch hier um Sensibilisierung gehandelt und es ist von besonderem Interesse, daß eine photodynamische Wirkung bei einem sich offenbar selektiv an das Knochengewebe bindenden Farbstoffe aufgetreten ist.

---

Nun ist noch, allerdings mit großer Reserve, einer Krankheit des Menschen, der Pellagra, zu gedenken, deren Zugehörigkeit zu den optischen Sensibilisationskrankheiten in allerjüngster Zeit angenommen wird. Es ist dies jene rätselhafte Erkrankung des Menschen, die insbesondere in Oberitalien, Rumänien, der Bukowina, früher auch in Südtirol, verheerend auftrat.

Drei Symptomenkomplexe sind für die Krankheit charakteristisch, Symptome seitens der Haut, des Verdauungstraktes und des Zentralnervensystems.

Es ist auch von jeher betont worden, daß das Aufflackern insbesondere des Pellagraerythems im Frühjahre in einem gewissen Zusammenhange mit der stärkeren Belichtung stehe.

Die Pellagra ist bekanntlich ätiologisch mit dem Genusse von verdorbenem Mais in Zusammenhang gebracht worden und *Aschhoff* hat dann

zuerst den Gedanken ausgesprochen, daß es sich hier um eine Affektion handle, die durch sensibilisierende Substanzen hervorgerufen werde, die im Mais enthalten sind. Wie weit wir aber noch von der richtigen Erkenntnis einer Pellagraätiologie entfernt sind, geht am besten daraus hervor, daß in jüngster Zeit neben der erwähnten „Mais-Licht"hypothese eine Annahme aufgetaucht ist, wonach es sich bei der Pellagra um eine durch Mückenstiche übertragene Affektion handle *(Sambon)*.

Jedenfalls ist aber durch eine ganze Reihe von Untersuchungen festgestellt worden, daß weiße Mäuse resp. Meerschweinchen und Kaninchen nach längerer Maisfütterung im Lichte zugrunde gehen, Haut-, Darm- und nervöse Symptome zeigen, im Dunkeln aber gesund bleiben *(Horbaczewski, Lode, Raubitschek)*. Bei pigmentierten Tieren treten diese Erscheinungen nicht oder nur in geringem Maße auf. Genauere Untersuchungen, wobei insbesondere die Forschungen *Horbaczewskis* hervorzuheben sind, haben weiters gezeigt, daß es aller Wahrscheinlichkeit nach ein alkohollöslicher Farbstoff des gesunden Maiskornes ist, der diese Wirkungen ausübt.

Ob diese Befunde eine Klärung der Pellagrafrage bringen werden, läßt sich schwer beurteilen. Jedenfalls muß bemerkt werden, daß Lichterkrankungen, wenn sie auf optischer Sensibilisation beruhen, mit intensivem Jucken und Hautnekrosen einhergehen, beides ist nach Maisfütterung der Laboratoriumstiere bei Belichtung beobachtet worden.

Es ist auffallend, daß bei Pellagrösen nie von starkem Jucken die Rede ist und daß in der pathologischen Anatomie dieser Affektion von Hautnekrosen nichts berichtet wird.

Auch ist darauf hinzuweisen, daß zur Zeit der stärksten Belichtung, im Hochsommer, die Erytheme der Pellagra ungleich weniger stark auftreten als im Frühjahre, wenngleich die Lichtsumme des April nach *Wiesner* eine ungemein starke Steigerung gegenüber dem Monate März bedeutet. Auch ist es merkwürdig, daß trotz überaus häufiger Verfütterung von Mais an landwirtschaftliche Haustiere nie von derartigen Erkrankungen berichtet worden ist, abgesehen von der äußerst seltenen sogenannten Maisstengelerkrankung von Rindern in Amerika und einem Fall von Rindererkrankungen nach Genuß von Maisschlempe, die einen an die Pellagra erinnernden Eindruck gemacht haben soll.

Möglich wäre es übrigens, daß die Zubereitung des Maises von Bedeutung wäre, denn es ist bemerkenswert, daß das Buchweizenkorn, welches bei allen untersuchten Tieren im Lichte den Fagopyrismus herbeiführt, anscheinend beim Menschen nie Störungen veranlaßt, obwohl diese Körnerfrucht in manchen Gegenden Deutschlands in größter Menge verzehrt wird und die Bedingungen zum Zustandekommen einer Lichtkrankheit dort sicher häufig gegeben wären.

Fassen wir die obigen Darlegungen kurz zusammen, so können wir sagen, daß mehrere in der Natur häufig vorkommende Farbstoffe photobiologische Sensibilisatoren darstellen und daß solche Körper unter physiologischen und pathologischen Umständen imstande sind, ihre Wirkung zu entfalten. Weitere Untersuchungen werden uns über die Verbreitung und die Funktion solcher Sensibilisatoren in der belebten Natur aufklären müssen.

## Literatur.


*L. Aschhoff*, Handbuch der allgemeinen Pathologie von *Krehl* und *Marchand*, Bd. I, S. 159, 1908.

*E. Becquerel*, Compt. rend., Bd. 79, pag. 185.

*G. Busk*, 1. Biochem. Zeitschr., Bd. 1, S. 425, 1906. — 2. Mitteilungen aus *Finsens* med. Lichtinstitut, 9. H., S. 193, 1905.

*J. M. Eder* und *E. Valenta*, Beiträge zur Photochemie und Spektralanalyse. Wien 1904.

*S. Ehrmann*, Arch. f. Dermat. u. Syph., Bd. 97, S. 83, 1909.

*Th. W. Engelmann*, Bot. Zeit., S. 26, 1883.

*J. Fischer*, Untersuchungen über einige Bestandteile des Buchweizens. Inaug.-Diss. Bern 1909.

*Fröhner*, Lehrbuch der Toxikologie. Stuttgart 1910, S. 325.

*Garrod*, Journ. of Physiol., Bd. 17, pag. 349.

*Glocke*, zit. nach *J. Fischer*, l. c. S. 21.

*Götzl*, Wiener klin. Wochenschr., Nr. 50, 1911.

*W. Hausmann*, 1. Biochem. Zeitschr., Bd. 14, S. 275, 1908; Bd. 15, S. 12, 1908; Bd. 30, S. 276, 1910. — 2. Biochem. Zeitschr., Bd. 12, S. 331, 1908; Ber. d. deutschen bot. Ges., 26a, S. 451, 1908; Biochem. Zeitschr., Bd. 16, S. 294, 1909 und *Pringsheims* Jahrb. f. wissenschaftl. Bot., Bd. 46, S. 599, 1909. — 3. Wiener klin. Wochenschr., Nr. 36, 1910.

*W. Hausmann* und *L. v. Portheim*, Biochem. Zeitschr., Bd. 21, S. 51, 1909.

*W. Hausmann* und *E. Pribram*, Biochem. Zeitschr., Bd. 17, S. 13, 1909.

*E. Hertel*, Zeitschr. f. allg. Physiol., Bd. 66, S. 44, 1906.

*Heusinger*, Wochenschr. f. d. ges. Heilk., S. 277, 1846.

*J. Horbaczewski*, Das österreichische Sanitätswesen, 1910, Beilage zu Nr. 31 und Nr. 21. 1912.

*L. Jost*, Vorlesungen über Pflanzenphysiologie. Jena 1908, 2. Aufl., S. 151.

*Klein*, zit. nach *J. Fischer*, l. c. S. 23.

*H. Kniep* und *J. Minder*, Zeitschr. f. Bot., Bd. 1, S. 619, 1910.

*H. Kylin*, Zeitschr. f. phys. Chem., Bd. 69, S. 169—240, 1910.

*Ledoux-Lebard*, Ann. de l'inst. *Pasteur*, Bd. 16, pag. 587, 1902.

*Lode*, Wiener klin. Wochenschr., Nr. 31, 1910.

*Mac Munn*, zit. nach *Malys* Jahresber., Bd. 15, S. 325; Bd. 16, S. 348; Bd. 18, S. 240.

*H. Molisch*, Bot. Zeit., Bd. 1, S. 131, 1895.

*W. Ochmke*, Zentralbl. f. Physiol., Bd. 22, S. 685, 1908.

*O. Perutz*, Wiener klin. Wochenschr., Nr. 4, 1910 und 1912.

*H. Pfeiffer*, 1. Wiener klin. Wochenschr., Nr. 9 u. 10, 1905. — 2. Zeitschr. f. Immunitätsforschung, Bd. 10, S. 550, 1911.

*O. Raab*, Zeitschr. f. Biol., Bd. 39, S. 537, 1900 und Bd. 44, S. 16, 1902.

*H. Raubitschek*, Wiener klin. Wochenschr., Nr. 26, 1910.

*Rollier*, Das österreichische Sanitätswesen. Nr. 28, 1912.

*D. A. Rosenthal*, Synopsis plant. diaphoricarum. Erlangen. S. 748, 1862.

*Sacharoff-Hans Sachs*, Münchener med. Wochenschr., Nr. 7, 1905.

*L. W. Sambon*, Journ. of Prop. Med. and Hygiene. London 1910.
*W. Th. L. Spinola*, Die Krankheiten der Schweine. Berlin 1842.
*W. Straub*, Arch. f. exp. Path. u. Pharm., Bd. 51, 383, 1904.
*H. v. Tappeiner*, Ergebn. d. Physiol., Bd. 8, S. 698, 1909 und *H. v. Tappeiner* und *H. Jodlbauer*, Gesammelte Untersuchungen über die photodynamische Erscheinung. Leipzig 1907.
*Timiriazeff*, 1. zit. nach *F. Czapek*, Biochemie der Pflanzen, I, S. 494, 1905. — 2. zit. nach *F. Czapek*, Biochemie der Pflanzen, I, S. 466, 1905.
*F. W. Vogel*, Ber. d. deutschen chem. Ges., Bd. 6, S. 1302, 1873.
*M. Wedding*, Verhandl. d. Berliner Anthrop. Ges., Zeitschr. f. Ethnologie, Bd. 19, S. 67, 1887.
*J. Wiesner*, Der Lichtgenuß der Pflanzen. Leipzig 1907.
*Wyman*, mitgeteilt von *Ch. Darwin*, Ges. Werke, Bd. 2, S. 32, Deutsche Ausgabe. Stuttgart 1876.

# Grundlagen und Ergebnisse der radioaktiven Forschung.

Von **Otto Hahn** und **Lise Meitner,** Berlin.

Als im Jahre 1895 *Röntgen* die nach ihm benannten Strahlen entdeckte, ahnte wohl niemand, welche tiefgreifenden Erkenntnisse sich an diese Entdeckung knüpfen sollten. Und doch hatte sie schon wenige Monate später zu den Beobachtungen *Becquerels* geführt, die die Grundlage des neuen Gebietes der Radioaktivität wurden.

In der ersten Zeit nach der Entdeckung der Röntgenstrahlen hatte man der Fluoreszenz des Glases an den von den Kathodenstrahlen getroffenen Stellen, die den Ausgangspunkt der Röntgenstrahlen bildeten, eine entscheidende Rolle zugeschrieben. Auf Grund dieser zuerst von *Poincaré* ausgesprochenen Vermutung unternahm *Henri Becquerel* im Jahre 1896 eine Untersuchung der fluoreszierenden Uransalze auf etwa vorhandene „unsichtbare" Strahlen. Er legte einen Krystall von Uranylkaliumsulfat auf eine in schwarzes Papier eingehüllte photographische Platte und erhielt nach einer Exposition von wenigen Tagen beim Entwickeln eine deutliche Schwärzung, deren Umriß die Form des Krystalls wiedergab. Bei der Fortsetzung seiner Versuche erkannte aber *Becquerel,* daß die Fluoreszenz für die Emission der unsichtbaren Strahlen ganz belanglos ist. Es zeigte sich sogar, daß das nicht fluoreszierende schwarze Uranoxyd eine beträchtlich intensivere Strahlenwirkung aufweist, als die fluoreszierenden Salze, und zwar fand *Becquerel*, daß die Strahlenemission in ihrer Stärke augenscheinlich nur durch den Urangehalt bestimmt wurde. Er kam so zu dem Schluß, daß Uran und alle seine Verbindungen Strahlen besonderer Art aussenden, die er Uranstrahlen nannte. Er zeigte, daß diese Strahlen dünne Metallfolien zu durchdringen und elektrisch geladene Körper zu entladen vermögen, indem sie die Luft, die sie durchdringen, zu einem Leiter der Elektrizität machen. Diese Beobachtungen wurden von *Elster* und *Geitel, Rutherford* u. a. bestätigt und erweitert.

Es war naheliegend, auch andere chemische Elemente auf eine etwaige Strahlenemission zu untersuchen. Aber unter den zahlreichen untersuchten Substanzen wurde nur bei einer eine Strahlenemission festgestellt, nämlich beim Thorium, und zwar unabhängig und gleichzeitig von Frau

*Curie* in Paris und *G. C. Schmidt* in Deutschland. Von Frau *Curie* wurde dann auch eine große Anzahl künstlicher Uranverbindungen auf ihre Strahlungswirkung untersucht und der Nachweis erbracht, daß diese Wirkung proportional dem Urangehalt ist. Eine ähnliche Untersuchung wurde mit Thorium und seinen Verbindungen ausgeführt. Frau *Curie* schloß aus ihren Befunden, daß die Aussendung von Strahlen eine Eigenschaft der Atome des Urans resp. Thoriums sei und sie nannte Substanzen, die derartige Emissionen geben, radioaktiv.

Bei der weiteren Verfolgung der Erscheinungen der Radioaktivität untersuchte Frau *Curie* nun auch eine große Anzahl von in der Natur vorkommenden Mineralien. Es ergab sich, daß sämtliche sich als radioaktiv erweisende Mineralien Uran oder Thorium enthielten. Aber die Stärke der Strahlenemission war bei einzelnen größer als beim metallischen Uran resp. Thorium. Beispielsweise erwies sich das Mineral Chalkolit (krystallisiertes Uran-Kupferphosphat) als zweimal so stark radioaktiv wie metallisches Uran, die Pechblende als etwa viermal so stark aktiv. Dies stand in Widerspruch damit, daß die Radioaktivität der Uranverbindungen als Atomeigenschaft des Urans dem Urangehalt proportional sein muß. Um diesen Punkt näher zu prüfen, stellte Frau *Curie* künstlichen Chalkolit her. Derselbe zeigte die Aktivität, die seinem Urangehalt entsprach, nämlich nur etwa $^1/_5$ von der Aktivität des natürlichen Materials.

Frau *Curie* schloß daraus, daß die in der Natur vorkommenden Uranmineralien noch eine unbekannte Substanz von hoher Aktivität enthalten müßten. Da die Analysen der Uranmineralien auf 1 bis 2 Prozent genau bestimmt waren, so konnte die unbekannte Substanz höchstens innerhalb dieser Grenzen in den betreffenden Mineralien enthalten sein. Da sie andrerseits die Aktivität der Mineralien um ein Mehrfaches der entsprechenden Uranstrahlung vermehrte, so mußte sie mindestens mehrere hundertmal stärker aktiv sein als eine gleiche Menge Uran. Frau *Curie* ging nun in Gemeinschaft mit *P. Curie* daran, diese hypothetische Substanz aus der Pechblende aufzufinden. Das Prinzip der Untersuchung war folgendes: die Radioaktivität der Ausgangssubstanz wurde aus der Entladungsgeschwindigkeit eines Elektroskops bestimmt. Dann wurde eine chemische Trennung ausgeführt und alle sich ergebenden Produkte auf ihre Radioaktivität geprüft. Diejenigen Produkte, die eine relative Anreicherung an radioaktiver Substanz zeigten, wurden weiter verarbeitet. Bei der Behandlung der Pechblende nach diesen Gesichtspunkten zeigte sich eine Konzentration der Radioaktivität nach zwei Richtungen hin. Einerseits besaß das aus der Pechblende extrahierte Wismut, andrerseits das Bariumsulfat eine ganz beträchtliche Radioaktivität. Da sowohl käufliches Wismut als käufliche Bariumsalze inaktiv sind, schlossen die beiden Forscher, daß sie durch ihre chemische Behandlung der Pechblende zwei neue radioaktive Substanzen abgetrennt hatten, deren eine in ihrem chemischen Verhalten dem Wismut, die andere dem Barium nahestehen müsse. Der das Wismut begleitende Körper wurde dem Vaterland Frau

*Curie*s zu Ehren Polonium genannt, die das Barium begleitende Substanz erhielt den Namen Radium.

Eine Anreicherung an Radium konnte durch fraktionierte Krystallisation erreicht werden, da bei der Lösung eines Gemenges von Barium- und Radiumchloriden in Wasser oder verdünnter Salzsäure das Radiumchlorid sich als schwerer löslich erwies. Bald wurde auch der einwandfreie Beweis erbracht, daß im Radium tatsächlich ein neues chemisches Element vorliegt. *Demarçay* konnte im Funkenspektrum radiumhaltiger Bariumsalze Linien feststellen, die keinem bekannten Element angehören und deren Intensität in dem Maße zunahm als die untersuchten Präparate stärker aktiv waren. Nachdem es durch das von Frau *Curie* ausgearbeitete fraktionierte Verfahren gelungen war, reine Radiumsalze herzustellen, wurden die Untersuchungen des Radiumspektrums durch Arbeiten von *Giesel, Exner* und *Haschek, Runge* und *Precht* und *Crookes* ergänzt.

Das Radiumspektrum entspricht den Spektren der Erdalkalimetalle, zu denen das Radium auch seinen chemischen Eigenschaften nach gehört. Die Bunsenflamme wird nach *Giesel* durch Radium carminrot gefärbt.

Die zweite für die elementare Natur des Radiums maßgebende Größe, nämlich das Atomgewicht, wurde von Frau *Curie* bestimmt. Sie fand im Mittel aus einer großen Zahl sorgfältiger Versuche den Wert 226·4. In neuerer Zeit hat *Hönigschmid* nach den modernsten Methoden und mit etwa 1·5 *g* Radiumchlorid als Ausgangsmaterial Atomgewichtsbestimmungen ausgeführt, die den Wert 225·95 ergaben.

Auch die Darstellung des Radiums als reines Metall ist in letzter Zeit gelungen. Frau *Curie* und Herr *Debierne* stellten metallisches Radium dar nach einer Methode, die zuerst von *Güntz* zur Herstellung metallischen Bariums verwendet worden ist. Das metallische Radium erwies sich als eine weich glänzende Substanz, die bei 700° schmilzt und sich an der Luft rasch verändert.

Unsere Kenntnisse über das Radium sind also schon so weit gediehen, daß es als wohl definiertes chemisches Element in das periodische System eingereiht werden kann. Wir wissen, daß es in die Gruppe der Erdalkalimetalle gehört, wir kennen sein Spektrum und sein Atomgewicht, können es als reines Metall und in seinen Verbindungen darstellen. Der einzige Faktor, in dem es sich von anderen chemischen Elementen unterscheidet, ist seine Radioaktivität.

Das Polonium ist noch nicht so gut bekannt. Zwar konnte *Marckwald* aus 6 *kg* Wismutoxychlorid, die aus 2 Tonnen Pechblende stammten, 4 *mg* einer sehr stark aktiven Substanz gewinnen, deren aktiver Bestandteil sich zum größten Teil auf einem in ihre salzsaure Lösung eingetauchten Kupferstreifen absetzte; aber erst in jüngster Zeit gelang es Frau *Curie* und *Debierne*, Anreicherungen von Polonium zu erhalten, die genügend groß waren, um an Aufnahme eines Spektrums denken zu können. Aus mehreren Tonnen Uranrückständen wurden in einigen Milligramm Substanz etwa 0·1 *mg* Polonium hergestellt. Die Funkenspektra dieses Präparates

ergaben einige neue Linien, die mit ziemlicher Wahrscheinlichkeit dem Polonium zugesprochen werden können.

Eine weitere stark radioaktive Substanz wurde aus der Pechblende von *Debierne* und später unabhängig von ihm von *Giesel* entdeckt. *Debierne* nannte diese Substanz Aktinium.

Ferner fanden *Hofmann* und *Strauss*, daß das aus der Pechblende abgeschiedene Blei stark radioaktiv ist und nannten es Radioblei. Wir wissen heute, namentlich durch Untersuchungen von *Rutherford*, daß es seine Strahlungsfähigkeit einer radioaktiven Substanz verdankt, die in chemischer Hinsicht dem Blei verwandt ist und daher seinen Reaktionen folgt. Schließlich ist als in neuerer Zeit aus der Pechblende gewonnene radioaktive Substanz noch das Jonium zu nennen, das die Eigenschaften des Thoriums besitzt.

Auch aus Thoriummineralien wurden Substanzen abgeschieden, deren Aktivität pro Gewichtsmenge viel größer war als die des reinen Thoriums. Im Jahre 1905 entdeckte *Hahn* gelegentlich von Untersuchungen des Thorianits, eines Minerals, das 70—80% Thoroxyd und 10—15% Uranoxyd enthält, eine sehr stark aktive Substanz, der er den Namen Radiothorium gab. Unabhängig hiervon war die gleiche Substanz, die chemisch sehr nahe mit dem Thorium verwandt sein muß, im Quellwasser von *G. A. Blanc* und *Elster* und *Geitel* gefunden worden. Zwei Jahre später fand *Hahn* gleichfalls in Thoriumsalzen eine radioaktive Substanz, die in ihren chemischen Eigenschaften sich den Erdalkalimetallen anschließt, das Mesothorium.

## Die Strahlen der radioaktiven Substanzen.

Alle diese Substanzen haben, so verschieden sie auch sonst sein mögen, die gemeinsame Eigenschaft, Strahlen auszusenden, die die Luft ionisieren, d. h. zu einem Leiter der Elektrizität machen, die photographische Platte schwärzen und gewisse Substanzen zur Fluoreszenz anregen.

Das genauere Studium dieser Strahlen hat gezeigt, daß sie sich in drei wohlcharakterisierte Gruppen gliedern, die nach *Rutherford* als $\alpha$-, $\beta$- und $\gamma$-Strahlen bezeichnet werden.

### Die $\alpha$-Strahlen.

Die $\alpha$-Strahlen sind Teilchen von Atomgröße, die von den radioaktiven Substanzen mit durchschnittlichen Geschwindigkeiten in der Größenordnung von $^1/_{20}$ Lichtgeschwindigkeit, also etwa 15.000 *km* pro Sekunde, ausgesendet werden. Trotz dieser großen Anfangsgeschwindigkeit können die Strahlen aber nur wenige Zentimeter Luft oder entsprechende Dicken anderer Substanzen durchdringen. Sie erfahren auf ihrem Wege eine verhältnismäßig rasche Verringerung ihrer kinetischen Energie, die beim Durchgang durch Gase in der Ionisation der Gase, beim Durchdringen fester Materie in einer Erwärmung der Materie ihre hauptsächlichste

Kompensation findet. Die Strecke, die ein α-Strahl in Luft von 760 *mm* Druck zurückzulegen vermag, bis seine Wirkungsfähigkeit aufhört (und zwar sowohl die auf die photographische Platte, als auch auf elektrisch geladene Körper und auf fluoreszenzfähige Substanzen), wird als Reichweite des α-Strahles bezeichnet. Ist der Druck der Luft kleiner, so ist die Reichweite entsprechend größer. *Bragg* und *Kleeman* zeigten, daß die α-Strahlen der einzelnen radioaktiven Substanzen durch verschiedene Reichweiten, die einer und derselben Substanz durch die gleiche Reichweite charakterisiert sind. Beispielsweise beträgt die Reichweite der α-Strahlen des Poloniums 3·96 *cm*, die des Urans 2·7 *cm* usw. Die durchdringendsten α-Strahlen besitzen eine Reichweite von 8·6 *cm*. In festen Körpern ist die Reichweite entsprechend kleiner, beispielsweise entspricht 1 *cm* Luft ungefähr 0·008 *mm* Aluminium.

Daß die α-Strahlen einer und derselben radioaktiven Substanz alle die gleiche Reichweite besitzen, hat seinen Grund in der gleichen Geschwindigkeit, mit der sie von dem radioaktiven Atom ausgeschleudert werden. Beim Durchgang durch Materie erfahren sie eine Geschwindigkeitsveränderung. Der Nachweis, daß α-Strahlen derselben Substanz dieselbe Geschwindigkeit besitzen und wie diese Geschwindigkeit, wenn die α-Strahlen durch Materie hindurchgehen, verändert wird, ist zuerst von *Rutherford* erbracht worden. Seine Beweisführung stützt sich auf die Tatsache, daß die α-Strahlen eine elektrische Ladung besitzen, und zwar eine positive. Elektrisch geladene Teilchen werden in einem Magnetfeld aus ihrer Bewegungsrichtung abgelenkt, und zwar hängt die Größe der Richtungsänderung bei demselben magnetischen Feld von der Größe der Ladung, der Masse und der Geschwindigkeit der Teilchen ab, außerdem aber ändert sich der Sinn der Ablenkung mit dem Vorzeichen der Ladung des Teilchens. Für ein und dasselbe elektrisch geladene Teilchen ist die Ablenkung um so größer, je stärker das Magnetfeld ist. Ähnlich erleiden elektrisch geladene Teilchen auch in einem elektrischen Felde Ablenkungen.

Durch die Bestimmung der Ablenkungen, die die α-Strahlen im magnetischen und elektrischen Feld erfahren, konnte *Rutherford* den Nachweis erbringen, daß die α-Strahlen positiv geladene Teilchen sind, die alle das gleiche Verhältnis der Ladung zur Masse besitzen, aber je nach der radioaktiven Substanz, von der sie stammen, verschiedene Geschwindigkeiten haben. Beim Durchdringen von Materie erleiden sie einen Geschwindigkeitsverlust, der anfangs langsamer erfolgt, gegen das Ende der Reichweite aber sehr rasch vermutlich bis zur Geschwindigkeit Null führt. Es ist daher klar, daß, je größer die Geschwindigkeit ist, mit der die α-Teilchen das radioaktive Atom verlassen, um so größer auch ihre Reichweite sein wird. Die α-Strahlen von der größten Reichweite von 8·6 *cm* besitzen eine Anfangsgeschwindigkeit von 22.700 *km*. Sie können beispielsweise 0·05 *mm* Aluminium noch durchdringen.

Was das Verhältnis e/m Ladung zur Masse eines α-Teilchens betrifft, so wurde dafür ein Wert erhalten, der etwa halb so groß war wie der

für ein Wasserstoffion, also für ein geladenes Wasserstoffatom. Wenn daher das $\alpha$-Teilchen die gleiche Ladung wie ein Wasserstoffion besitzt, so muß seine Masse ein Atom vom Atomgewicht 2 sein. Da aber ein derartiger Körper vom Atomgewicht 2 nicht bekannt ist, machte *Rutherford* die Annahme, daß die $\alpha$-Teilchen Teilchen vom Atomgewicht 4 sind, die eine doppelt so große positive Ladung wie das Wasserstoffion besitzen. Das Element, dessen Atomgewicht 4 ist, ist das Edelgas Helium, die $\alpha$-Strahlen mußten also nach *Rutherfords* Annahme doppelt positiv geladene Heliumatome sein. Eine wesentliche Stütze seiner Annahme sah *Rutherford* in der Tatsache, daß alle radioaktiven Mineralien Helium enthalten.

Die *Rutherfords*che Hypothese wurde in der Folge glänzend bestätigt. Im Jahre 1904 zeigten *Ramsay* und *Soddy*, daß in den Gasen, die sich über Radiumlösungen ansammeln, stets Helium aus seinem Spektrum nachzuweisen ist, und um so besser, je länger man die Gase sich ansammeln läßt; damit war die Entstehung von Helium aus Radium experimentell erwiesen.

Der direkte Beweis, daß die $\alpha$-Strahlen Helium sind, wurde von *Rutherford* und *Royds* erbracht. *Rutherford* und *Royds* füllten eine große Menge Radiumemanation in ein sehr dünnwandiges Glasröhrchen und ließen deren $\alpha$-Strahlen in einen evakuierten Raum eindringen, in dem die Abwesenheit von Helium vor Einbringen des Emanationsröhrchens spektrographisch nachgewiesen worden war. In dem Maße, als die $\alpha$-Strahlen sich mehr und mehr ansammelten, konnten die Forscher das Auftreten von Helium spektralanalytisch nachweisen. Außerdem zeigten *Rutherford* und *Geiger* durch direkte Ladungsmessungen, daß die Ladung eines $\alpha$-Teilchens tatsächlich doppelt so groß ist wie die eines Wasserstoffions. Natürlich folgt hieraus notwendigerweise, daß nicht nur Radium, sondern überhaupt alle $\alpha$-strahlenden Substanzen Helium erzeugen müssen und tatsächlich ist dies auch für Aktinium und Polonium von *Debierne* und Frau *Curie*, für Uran und Thorium von *Soddy* nachgewiesen worden.

Eine Gruppe sehr wichtiger Arbeiten schloß sich an die besondere Art der Fluoreszenzerregung durch $\alpha$-Strahlen an. Die $\alpha$-Strahlen rufen nämlich, wenn sie auf sogenannte Sidotblende, d. i. krystallinisches Zinksulfid, auffallen, eine Art diskontinuierliches Leuchten hervor, das aus lauter einzelnen Lichtblitzen besteht und als Szintillieren bezeichnet wird. Dieses sehr charakteristische Leuchten bietet z. B. eine bequeme Methode, die Reichweite der $\alpha$-Strahlung zu bestimmen. Wie wir heute wissen, entspricht jedem auffallenden $\alpha$-Strahl ein Lichtblitz, so daß man bei geeigneter Anordnung die von einer radioaktiven Substanz pro Sekunde ausgesendeten $\alpha$-Teilchen zählen kann. Derartige Zählungen auf Grund der Szintillationsmethode sind zuerst von *Regener* durchgeführt worden. Die Zahl der von 1 *g* Radium pro Sekunde ausgegebenen Teilchen ist von *Rutherford* und *Geiger* nach einer anderen Methode bestimmt und zu

34.000 Millionen gefunden worden. Die große Bedeutung dieser Zahl kann erst weiter unten auseinandergesetzt werden.

Wie schon oben bemerkt, können die α-Strahlen nur innerhalb ihrer Reichweite Wirkungen ausüben, also beispielsweise Ionisation in Gasen hervorrufen. Die Anzahl Ionen, die ein α-Teilchen pro Zentimeter auf seinem Wege erzeugt, ist für die verschiedenen Stellen seiner Bahn verschieden. Sie ist am kleinsten am Anfang seiner Bahn, wächst gegen das Ende sehr rasch an und fällt dann fast plötzlich an der Grenze der Reichweite nach Null. Die Gesamtzahl der Ionen, die ein α-Teilchen auf seiner Bahn in Luft erzeugt, wurde von *Geiger* für die verschiedenen α-strahlenden Substanzen bestimmt. So erzeugt Polonium auf seiner Bahn von 3·86 *cm* 162.000 Ionen.

Zusammenfassend können wir von den α-Strahlen aussagen, daß sie doppelt positiv geladene Heliumatome sind, die das radioaktive Atom mit einer für dieses Atom charakteristischen Geschwindigkeit verlassen, und daß diese Geschwindigkeit die Reichweite bestimmt, innerhalb der das α-Teilchen seine ionisierende, photographische und Fluoreszenz erregende (szintillierende) Wirkung auszuüben vermag.

## Die β-Strahlen.

*Henri Becquerel* hatte bei seinen ersten Versuchen über die Uranstrahlen die verwendeten photographischen Platten in schwarzes Papier eingehüllt, so daß, wie aus den oben dargelegten Eigenschaften der α-Strahlen folgt, diese an der Schwärzung der photographischen Platte nicht beteiligt sein konnten. Die wirksamen Strahlen waren vielmehr die früher als *Becquerel-*, jetzt als β-Strahlen bekannten Strahlen.

Die β-Strahlen machen sich ebenso wie die α-Strahlen durch ihre Wirkung auf die photographische Platte, auf fluoreszenzfähige Substanzen und durch ihr Ionisationsvermögen bemerkbar. Sie sind gleichfalls elektrisch geladene Massenteilchen, aber im Gegensatz zu den α-Teilchen besitzen sie eine negative Ladung und eine außerordentlich geringe Masse, die nur etwa $^1/_{1700}$ von der des Wasserstoffatoms beträgt. Sie sind identisch mit den schon seit langem bekannten Kathodenstrahlen, d. h. sie sind die kleinsten Einheiten der negativen Elektrizität, die Elektronen. Die Geschwindigkeit der β-Strahlen ist aber bedeutend größer als die der Kathodenstrahlen und sie besitzen daher auch ein sehr viel größeres Durchdringungsvermögen. Sie können einige Millimeter Metall, entsprechend größere Dicken von Holz, Karton, Glimmer und mehrere Dezimeter Luft durchdringen. Ihre ionisierende Wirkung ist wegen der sehr viel kleineren Masse auf gleichen Luftstrecken viel geringer als die der α-Strahlen. Untersucht man daher radioaktive Substanzen, die gleichzeitig α- und β-Strahlen aussenden, so beträgt die Wirkung der β-Strahlen neben der der α-Strahlen nur wenige Prozente, kommt aber andrerseits noch fast ungeschwächt in Entfernungen zur Geltung, in denen die α-Strahlen schon

lange nicht mehr nachweisbar sind. In elektrischen und magnetischen Feldern erfahren die β-Strahlen infolge ihrer negativen Ladung eine entgegengesetzt gerichtete Ablenkung wie die positiven α-Strahlen. Während aber zur Ablenkung der α-Strahlen wegen ihrer großen Masse sehr starke Magnetfelder notwendig sind, können die β-Strahlen, deren Masse $^1/_{7000}$ von der eines Heliumatoms, also eines α-Strahles beträgt, schon in schwachen Feldern verhältnismäßig stark abgelenkt werden. Es genügt zur Demonstration der Ablenkung der β-Strahlen schon ein einfacher Hufeisenmagnet.

Die Ablenkungsversuche ermöglichen natürlich ganz so wie bei den α-Strahlen das Verhältnis der Ladung e zur Masse m und die Geschwindigkeit zu bestimmen. Setzt man die Ladung gleich der des Wasserstoffions, so ergibt sich die Masse eines β-Teilchens wie schon früher erwähnt zu $^1/_{1700}$ von der des Wasserstoffatoms. Was die Geschwindigkeit der β-Strahlen betrifft, so liegen die Verhältnisse nicht so einfach wie bei den α-Strahlen. Die von einer und derselben radioaktiven Substanz ausgesendeten β-Strahlen sind nicht durch eine einzige Geschwindigkeit charakterisiert, sondern durch zwei oder mehrere Gruppen von Geschwindigkeiten. Die genauere Bestimmung der Geschwindigkeiten der β-Strahlen verschiedener Substanzen ist erst in neuerer Zeit durchgeführt worden. *v. Baeyer, Hahn* und *Meitner* haben die Geschwindigkeiten der β-Strahlen der Thorium- und Radiumprodukte aus den Ablenkungen im Magnetfeld bestimmt. Es zeigte sich, daß die langsamsten β-Strahlen, deren Geschwindigkeit im magnetischen Feld bestimmt wurde, mit 29% Lichtgeschwindigkeit, d. i. 87.000 *km* Geschwindigkeit, das radioaktive Atom verlassen, während die schnellsten eine Geschwindigkeit von 98% Lichtgeschwindigkeit = 294.000 *km* besitzen. Eine Untersuchung von *Danysz*, die mit stärkeren Magnetfeldern für die Radiumprodukte ausgeführt wurde, läßt es als möglich erscheinen, daß die Geschwindigkeit der schnellsten β-Strahlen noch beträchtlich näher als bis auf 2% an die Lichtgeschwindigkeit heranreicht. Je schneller nun die β-Strahlen sind, um so größer ist auch ihr Durchdringungsvermögen. β-Strahlen unter 60% Lichtgeschwindigkeit lassen sich bei den üblichen Methoden elektroskopisch kaum mehr nachweisen. Die elektroskopisch gemessenen β-Strahlen besitzen im Durchschnitt Geschwindigkeiten von über 60% Lichtgeschwindigkeit und werden erst durch mehrere Millimeter Aluminium oder 1 bis 2 *mm* Blei vollständig absorbiert. Das Gesetz der Absorption in der festen Materie ist ein angenähert exponentielles, d. h. in gleichen Schichtdicken werden ungefähr gleiche Bruchteile der Strahlungsintensität absorbiert. Daß die β-Strahlen beim Durchgang durch Materie eine Geschwindigkeitsverringerung erfahren, wurde zuerst von *W. Wilson* nachgewiesen, doch ist dieselbe für schnelle β-Strahlen über 70% Lichtgeschwindigkeit gering und reicht keinesfalls aus, die Absorption zu erklären.

Die Leuchtwirkung der β-Strahlen kann nicht, wie dies die Szintillationsmethode für die α-Strahlen ermöglicht, zu genauen Versuchen herangezogen werden, da die β-Strahlen keine merkbare Szintillation erzeugen.

Sie rufen beim Auftreten auf fluoreszenzfähige Substanzen ein gleichmäßiges Leuchten hervor, am stärksten auf Barium-Platincyanürschirmen, die daher auch gewöhnlich zu Demonstrationszwecken verwendet werden.

Die β-Strahlen sind sonach Elektronen, die mit sehr großen Geschwindigkeiten (fast bis zu Lichtgeschwindigkeit) von den radioaktiven Substanzen ausgeschleudert werden. Je nach der Substanz, die sie aussendet, besitzen sie verschiedene Geschwindigkeiten, wodurch ihr Durchdringungsvermögen bestimmt wird.

## Die γ-Strahlen.

Die γ-Strahlen unterscheiden sich von den bis jetzt besprochenen α- und β-Strahlen prinzipiell dadurch, daß sie keine korpuskularen Strahlen vorstellen, sondern einen dem Licht verwandten elektromagnetischen Schwingungsvorgang im Äther. Wenigstens ist das die am meisten verbreitete Ansicht von der Natur der γ-Strahlen, während die Annahme, die vor allem von *Bragg* vertreten wird, daß auch die γ-Strahlen Korpuskularstrahlen sind, vorläufig nur von wenigen anerkannt wird.

Ähnlich wie die β-Strahlen sehr schnelle Kathodenstrahlen darstellen, kann man die γ-Strahlen als sehr durchdringende Röntgenstrahlen ansehen. Aber während die Röntgenstrahlen dort entstehen, wo Kathodenstrahlen plötzlich in ihrer Bewegung gebremst werden, entstehen die γ-Strahlen offenbar an den Stellen, wo die β-Strahlen aus dem Atom herausgeschleudert werden, also in der radioaktiven Substanz selbst. Dementsprechend sind niemals γ-Strahlen an radioaktiven Substanzen beobachtet worden, die nicht auch β-Strahlen aussenden, während es α-strahlende Substanzen gibt, die keine β-Strahlen aussenden und umgekehrt.

Die γ-Strahlen erleiden auch in den stärksten elektrischen und magnetischen Feldern keinerlei Ablenkung, so daß, selbst wenn sie korpuskularer Natur sein sollten, sie jedenfalls keine elektrische Ladung besitzen können.

Das Durchdringungsvermögen der γ-Strahlen ist verglichen mit dem der β-Strahlen etwa 100 mal so groß und auch beträchtlich größer als das der Röntgenstrahlen. Sie können Bleiplatten von mehreren Zentimetern Dicke durchdringen. Frau *Curie* konnte mit den γ-Strahlen eines sehr starken Radiumpräparates einen Bariumplatincyanürschirm noch zum Aufleuchten bringen, wenn die Strahlen durch den menschlichen Körper hindurchgegangen waren. Radiographien, die mit γ-Strahlen statt mit Röntgenstrahlen aufgenommen würden, würden nur unscharfe Bilder ergeben, da wegen der großen Durchdringbarkeit der γ-Strahlen die Absorption in den Knochenteilen nicht erheblich größer ist, als in den Weichteilen.

Entsprechend dieser großen Durchdringbarkeit ionisieren die γ-Strahlen auf kleinen Luftstrecken nur sehr wenig und lassen sich neben α-Strahlen gar nicht und neben β-Strahlen nur schwer nachweisen. Will man sie allein untersuchen, so schaltet man etwa 0·5—1 *cm* Blei zwischen Präparat und

Meßgefäß ein. Dabei werden die $\alpha$- und $\beta$-Strahlen völlig absorbiert, während die $\gamma$-Strahlen nur wenig geschwächt hindurchgehen.

Auch die $\gamma$-Strahlen variieren je nach der radioaktiven Substanz, der sie angehören, in ihrem Durchdringungsvermögen beträchtlich. Zahlenmäßige Angaben hierüber liegen aber bisher nur spärlich vor.

## Die Theorie des radioaktiven Zerfalles.

Die Erkenntnis, daß bei den Strahlen der radioaktiven Substanzen die oben beschriebenen drei Gruppen zu unterscheiden sind, war ein sehr wichtiger Punkt für die weiteren Einblicke in die Natur der radioaktiven Prozesse.

Im Jahre 1900 hatte *W. Crookes* beim Behandeln von Uransalzen mit überschüssigem Ammoncarbonat einen ganz geringen unlöslichen Rückstand erhalten, der, nach photographischer Methode gemessen, fast die gesamte Strahlungsintensität aufwies, die vorher bei der sehr viel größeren Uranmenge vorhanden war. *Crookes* nahm an, daß er den aktiven Bestandteil des Urans, den er Uran X nannte, abgetrennt hätte, ähnlich wie Frau *Curie* das Radium vom Barium. Daß es sich hier um eine neue Erscheinung handelte, wurde im weiteren Verlauf der Versuche von *Becquerel* und später eingehender von *Rutherford* und *Soddy* bewiesen.

*Becquerel* fand nämlich, daß das als Uran X bezeichnete Präparat nach Verlauf eines Jahres seine Aktivität vollständig eingebüßt hatte, während gleichzeitig das Uran selbst seine ursprüngliche Wirksamkeit wieder erlangt hatte.

*Rutherford* und *Soddy* untersuchten die Geschwindigkeit, mit der die Aktivitätsabnahme des Uran X und die Aktivitätszunahme des Urans verlief und fanden für beide denselben Wert. Es zeigte sich, daß das Uran X in 22 Tagen auf die Hälfte, in weiteren 22 Tagen auf $^1/_4$ seiner Aktivität fiel, und daß das Uran in derselben Zeit die Hälfte resp. $^3/_4$ seiner Aktivität wieder erlangt. Außerdem wiesen aber *Rutherford* und *Soddy* nach, daß bei der Abscheidung des Uran X nur die $\beta$- und $\gamma$-Strahlen abgetrennt werden, während die $\alpha$-Strahlen unvermindert beim Uran zurückbleiben. Da *Crookes* bei der Untersuchung sich in Papier eingehüllter photographischer Platten bedient hatte, wurden hierbei die $\alpha$-Strahlen nicht mitgemessen, so daß er das abgetrennte Uran für strahlenlos halten konnte.

Ähnliche Erscheinungen wurden von *Rutherford* und *Soddy* beim Thorium beobachtet. Beim Fällen einer Thoriumlösung mit Ammoniak erhielten sie in dem thoriumfreien Filtrat nach dem Eindampfen ein stark aktives Produkt, das sie in Analogie mit dem Uran X als Thorium X bezeichneten. Die Aktivität des Thorium X nahm aber noch rascher ab als die des Uran X, sie fiel in knapp 4 Tagen auf die Hälfte, in weiteren 4 Tagen auf $^1/_4$ usw., war also nach einem Monat schon praktisch ver-

schwunden. In derselben Zeit hatte das Thorium seine Aktivität wieder erlangt. Das Verschwinden und das Wiederauftreten der Aktivität verlief also wieder nach demselben allgemeinen Gesetz wie beim Uran, nur war die Geschwindigkeit des Vorganges eine beträchtlich größere. Der mathematische Ausdruck dieser Gesetzmäßigkeit ist das einfache Exponentialgesetz. Bezeichnet $J_0$ die Aktivität zur Zeit Null, $J_t$ die zur Zeit t, $\lambda$ eine Konstante, die die Geschwindigkeit des Prozesses bestimmt, so gilt für die mit der Zeit abnehmende Aktivität der Ausdruck:

$$J_t = J_0 \; e^{-\lambda t}.$$

wobei e die Basis des natürlichen Logarithmus bedeutet. Das Wiederauftreten der Aktivität erfolgt entsprechend nach dem Gesetz

$$J_t = J_0 \, (1 - e^{-\lambda t}).$$

wobei die einzelnen Ausdrücke dieselbe Bedeutung haben wie in der oberen Gleichung. In Worten besagt die erste Gleichung, daß die in der Zeiteinheit verschwindende Aktivität proportional der vorhandenen Aktivität ist und der Proportionalitätsfaktor ist die Größe $\lambda$. Es ist dies ein vollkommenes Analogon zu dem in der Chemie bekannten Gesetz der monomolekularen Reaktionen. Die Zeit, in der die Hälfte der Aktivität verschwindet resp. wieder auftritt, heißt Halbwertszeit. Die Halbwertszeit des Uran X beträgt also 22 Tage, die des Thorium X 3·65 Tage.

Waren die Erscheinungen der Radioaktivität schon durch diese verschwindenden und neu auftretenden Aktivitäten sehr kompliziert, so wurde ihr Verständnis noch wesentlich erschwert durch die Erscheinungen der Emanation und der sogenannten induzierten Aktivität. *Owens* hatte beobachtet, daß die Strahlungsintensität der Thoriumpräparate durch Luftströmung der Umgebung sehr stark vermindert wird. *Rutherford*, der diese Versuche wiederholte und bestätigte, erklärte sie durch die Annahme, daß Thorium und seine Verbindungen außer den $\alpha$- und $\beta$-Strahlen noch eine „Emanation" aussenden, die sich wie ein radioaktives Gas verhält und sich im umgebenden Raum ausbreitet. *Dorn* zeigte, daß sich die gleichen Versuche auch mit Radium ausführen lassen, so daß auch diesem eine Emanation zuzuschreiben ist, und endlich fanden *Giesel* und später *Debierne* auch beim Aktinium eine Emanation. Wir wissen heute, daß die Emanationen keine neue Strahlungsart, sondern tatsächlich radioaktive Gase sind, die sich von anderen radioaktiven Substanzen nur durch ihren gasförmigen Aggregatzustand unterscheiden. Sie gehören zur Gruppe der Edelgase und ihre materielle Natur konnte z. B. durch die Beobachtung erwiesen werden, daß sie aus jedem Gas, mit dem sie gemischt sind, durch Anwendung genügend tiefer Temperaturen kondensiert werden können. Für die Radiumemanation wurde auch bereits durch Aufnahme ihres Spektrums und Bestimmung ihres Atomgewichtes bewiesen, daß ihr alle Eigenschaften eines chemischen Elementes zukommen.

Die induzierte Aktivität oder der aktive Niederschlag, wie die heute allgemein gebräuchliche Bezeichnung lautet, wurde im Jahre 1899 von Herrn und Frau *Curie* entdeckt. Die beiden Forscher beobachteten, daß alle Körper, die sich in der Nähe von Radiumsalzen befinden, selbst radioaktiv werden. Wurden diese aktivierten Körper aus der Nähe des Radiumsalzes entfernt, so verschwand ihre Aktivität nach verhältnismäßig kurzer Zeit. Diese als „induzierte Aktivität" bezeichnete Erscheinung erwies sich als unabhängig von der speziellen Natur der Körper und wurde in ihrer Stärke nur durch die Stärke des Radiumsalzes und durch die Dauer, während der sich die Körper in der Nähe des Radiums befanden, bestimmt. *Rutherford* fand die gleiche Erscheinung an Körpern, die sich in der Nähe von Thoriumsalzen befinden und er schlug dafür den Namen „aktiver Niederschlag" vor, ein Name, der den Umständen besser gerecht wird, da es sich in der Tat um niedergeschlagene, feste radioaktive Substanzen und nicht um einen durch die Anwesenheit des Radiums oder Thoriums hervorgerufenen Zustand der umgebenden Körper handelt.

Alle diese verschiedenartigen Vorgänge fanden eine vollständige Erklärung durch die von *Rutherford* und *Soddy* im Jahre 1903 aufgestellte Hypothese vom Zerfall der radioaktiven Atome.

Den Ausgangspunkt bildete die schon beschriebene Abtrennung des Thorium X vom Thorium und der Nachweis, daß das Thorium X in derselben Zeit und nach demselben Gesetz seine Radioaktivität verliert, wie das Thorium sie wieder erlangt. Daß die Radioaktivität eine Eigenschaft des Atoms ist, war schon von Frau *Curie* nachgewiesen worden, und der Umstand, daß das Thorium die chemisch abgetrennte Radioaktivität nach einiger Zeit wieder erlangt, muß daher durch einen Prozeß im Thoriumatom bedingt sein. Das Thoriumatom muß eine radioaktive Substanz abspalten, die durch chemische Prozesse abgetrennt werden kann, eben das Thorium X, das wieder nach demselben Gesetz, wie es vom Thorium nachgebildet wird, verschwindet, d. h. selbst wieder in einen weiteren Körper zerfällt.

*Rutherford* und *Soddy* konnten zeigen, daß Thorium X in die Thoriumemanation und diese wieder in den aktiven Niederschlag des Thoriums zerfällt. Dieser Atomzerfall ist von der Aussendung von $\alpha$- oder $\beta$-Strahlen begleitet. Die Strahlen sind also nur eine sekundäre Erscheinung, das Primäre ist die Instabilität der Atome, ihr Zerfall. Die einfachste Annahme ist die, daß beim Zerfall von $\alpha$-strahlenden Substanzen jedes Atom einen $\alpha$-Strahl, also ein Heliumatom abspaltet und sich dadurch in ein neues Atom verwandelt dessen Atomgewicht sich von dem ursprünglichen Atom um das Atomgewicht des Heliums, also um 4 Einheiten unterscheidet.

Der Atomzerfall beruht daher, wenn er unter $\alpha$-Strahlenemission vor sich geht, in der Spaltung eines Elementes in zwei andere, von denen eines das inaktive Helium, das andere ein neues im allgemeinen wieder radioaktives Element vorstellt. Betrachten wir als Beispiel den Fall des Radiums: Das Erdalkalimetall Radium zerfällt in das Edelgas Helium und

das neue Element Radiumemanation, das gleichfalls zu den Edelgasen gehört, sich aber von diesen dadurch unterscheidet, daß es selbst wieder instabil ist und unter Aussendung von $\alpha$-Strahlen, also Heliumatomen, in den aktiven Niederschlag zerfällt. Der radioaktive Zerfall muß aber keineswegs stets unter Aussendung von $\alpha$-Strahlen vor sich gehen, sondern es sind auch Fälle bekannt, wo nur $\beta$-Strahlen emittiert werden. In diesem Fall ändert sich das Atomgewicht der entstehenden Substanz nicht merkbar. Da dennoch die chemischen Eigenschaften völlig andere geworden sein können, so müssen wir dem Atom, nachdem es das $\beta$-Teilchen abgegeben hat, eine neue Konfiguration zuerkennen. Früher nahm man auch an, daß einzelne Umwandlungen überhaupt ohne Strahlenemission verlaufen. Nach neueren Untersuchungen sind aber bei fast sämtlichen früher als strahlenlos bezeichneten Substanzen Strahlen nachgewiesen worden.

Uran, Thorium und Radium sind die Elemente mit den höchsten Atomgewichten. Sie sind, wie oben beschrieben wurde, instabil und die Menge der von ihnen ausgegebenen Strahlen ist direkt ein Maß ihrer Instabilität. Je mehr Strahlen von einer gegebenen Substanzmenge emittiert werden, je mehr Atome sich also umwandeln, desto stärker radioaktiv ist die Substanz und ein desto größerer Bruchteil der vorhandenen Atome wandelt sich in der Zeiteinheit um.

Aus dem bisher Gesagten folgt, daß sowohl für den Zerfall des Uran X als auch des Thorium X und überhaupt für jede zerfallende Substanz ein einfaches Exponentialgesetz gilt. Denn da die Aktivität ein Maß der zerfallenden Atome ist, so muß in demselben Maß wie die Aktivität abnimmt, auch die Anzahl der zerfallenden Atome abnehmen. Daher gilt für die Zahl $N_t$ der zur Zeit t vorhandenen Atome eines radioaktiven Körpers, von denen zur Zeit Null die Menge $N_0$ vorhanden war, die Gleichung

$$N_t = N_0 \, e^{-\lambda t}.$$

Die Konstante $\lambda$ hat somit eine ganz besondere Bedeutung, sie bestimmt nämlich den in der Zeiteinheit sich umwandelnden oder zerfallenden Bruchteil der vorhandenen Substanzmenge und heißt daher Zerfallskonstante. Die Zerfallskonstante ist für jede einzelne radioaktive Substanz eine charakteristische Größe, die für sie ebenso unveränderlich und unbeeinflußbar ist als etwa das Atomgewicht eines gewöhnlichen chemischen Elementes. So ist der Wert der Zerfallskonstante für Thorium X auf den Tag als Zeiteinheit bezogen 0·19, d. h. von einer beliebigen Menge Th X zerfallen pro Tag 19%.

Wenn nun in einem Tag 19% (= 0·19) zerfallen, so zerfällt die Gesamtmenge in $\frac{1}{0{\cdot}19}$ Tagen. Das ist aber der reziproke Wert von $\lambda$.

Dieser reziproke Wert $1/\lambda = 5{\cdot}25$ Tage drückt also die mittlere Lebensdauer der Thorium X-Atome aus, d. h. wenn die Geschwindigkeit des Atomzerfalles konstant wäre, so würde nach 5·25 Tagen das gesamte Thorium X in das nächstfolgende Produkt, nämlich die Thoriumemanation

umgewandelt sein. In Wirklichkeit ist aber die Anzahl Atome, die von einer Substanz zerfallen, nicht immer die gleiche, sondern es zerfällt immer ein konstanter Bruchteil der vorhandenen Menge, also pro Zeiteinheit eine um so kleinere Menge, je weiter die Umwandlung der Substanz fortgeschritten ist.

Die Zeit, in der die Hälfte der Substanz umgewandelt wird, heißt Halbwertszeit oder Zerfallsperiode. Die Halbwertszeit des Thorium X beträgt, wie schon oben erwähnt, 3·65 Tage, d. h., um es nochmals zu wiederholen, in 3·65 Tagen ist die Hälfte der Thorium X-Atome in Thoriumemanation und die daraus entstehenden weiteren Produkte verwandelt, in $2 \times 3{\cdot}65 = 7{\cdot}3$ Tagen $^3/_4$ der Thorium X-Menge, in $3 \times 3{\cdot}65$ Tagen $= 10{\cdot}95$ Tagen $^7/_8$ der Thorium X-Menge usf.

In demselben Maße wie das Thorium X zerfällt, wird es von seiner Muttersubstanz im Thorium nachgebildet, d. h. ein gewisser Bruchteil der Atome dieser Muttersubstanz wandelt sich in Thorium X-Atome um. Würde das Thorium X selbst nicht zerfallen, so würden sich mit wachsender Zeit immer größere Mengen Thorium X im Thorium ansammeln; das Thorium X zerfällt aber selbst, und wenn man daher Thorium vollständig vom Thorium X befreit, so wird zunächst die Thorium X-Menge im Thorium vom Werte Null an rasch zunehmen; allmählich aber wird ihre Zunahme im Thorium immer langsamer werden und wenn ebensoviel Thorium X in der Zeiteinheit zerfällt, als im Thorium nachgebildet wird, wird die Thorium X-Menge unverändert bleiben. Dieser Zustand wird als radioaktives Gleichgewicht (hier zwischen Thorium und Thorium X) bezeichnet. Er ist dadurch charakterisiert, daß sich ebenso viele Atome Thorium in Thorium X verwandeln, als Thorium X-Atome in die Thoriumemanation zerfallen. Radioaktive Substanzen, die sich ineinander umwandeln, sind also, wenn sie in radioaktivem Gleichgewicht stehen, gleich stark aktiv, da sie ja gleich viel Strahlen emittieren. Nur sind viel mehr Thoriumatome als Thorium X-Atome vorhanden, und wenn während 3·65 Tagen die Hälfte aller vorhandenen Thorium X-Atome sich umwandelt, so bildet die in der gleichen Zeit zerfallene, gleich große Zahl von Thoriumatomen einen so verschwindend kleinen Bruchteil aller vorhandenen Thoriumatome, daß die dadurch bedingte Abnahme der Thoriummenge weit jenseits aller Beobachtungsmöglichkeit liegt. Haben wir also Thorium im Gleichgewicht mit Thorium X, so macht sich der radioaktive Zerfall nach außen hin nur durch die ausgesendeten Strahlen bemerkbar. In Wirklichkeit nimmt die Thoriummenge natürlich ab, aber da ihre Halbwertszeit nach indirekten Methoden gemessen etwa 1000 Millionen Jahre beträgt, so ist Thorium praktisch als konstant zu betrachten.

Aus dem Vorstehenden folgt unmittelbar, daß in einer Reihe sich ineinander umwandelnder Körper im Gleichgewichtszustand von den langsamer zerfallenden eine größere Menge vorhanden sein muß als von den rasch zerfallenden. Denn im Gleichgewichtszustand zerfallen von allen sich ineinander umwandelnden Körpern gleich viele Atome, aber je nachdem

diese gleiche Zahl bei dem einen Zerfallsprodukt beispielsweise der Hälfte aller seiner Atome, bei dem anderen beispielsweise nur einem Millionstel entspricht, sprechen wir von einem raschen oder langsamen Atomzerfall, d. h. die vorhandenen Mengen verhalten sich umgekehrt wie die Zerfallsgeschwindigkeiten, also direkt wie die Halbwertszeiten. Da sich die Halbwertszeiten von Thorium zu Thorium X wie 1000 Millionen Jahre zu 3·65 Tagen verhalten, also wie $10^{11}:1$, so müssen sich auch die Gleichgewichtsmengen von Thorium und Thorium X entsprechend verhalten; d. h. 1 *g* Thorium enthält im radioaktiven Gleichgewicht $10^{-11}$ *g* Thorium X oder in 100.000 Tonnen Thorium ist 1 *g* Thorium X enthalten.

Der hier skizzierte Prozeß der radioaktiven Bildung und des radioaktiven Zerfalls der Produkte gilt ganz allgemein für alle radioaktiven Vorgänge. Jedes radioaktive Produkt wandelt sich unter Strahlenemission in ein anderes Produkt um, und dieser Prozeß geht so lange vor sich, bis er zur Bildung eines nicht mehr radioaktiven Produktes geführt hat, das somit das Endglied der radioaktiven Reihe vorstellt. Dieses Endprodukt muß eines unserer gewöhnlichen chemischen Elemente sein. So sprechen sehr viele Anzeichen dafür, daß sich das Uran über eine Reihe radioaktiver Körper, zu denen auch Radium gehört, in Blei verwandelt.

Alle heute bekannten radioaktiven Produkte lassen sich im wesentlichen von zwei Substanzen ableiten: dem Uran und dem Thorium, und man spricht daher von einer Uran- und einer Thoriumreihe.

## Die Umwandlungsreihe des Urans.

### Uran und Uran X.

Das Uran ist ein seit langem bekanntes, wohldefiniertes chemisches Element vom Atomgewicht 238·4. Es kommt in verschiedenen Mineralien vor, von denen das wichtigste die Pechblende ist, die 50—80% Uran enthält. Es verwandelt sich stufenmäßig unter Emission von $\alpha$-Strahlen, also Bildung von Helium, in eine Reihe anderer Körper um, von denen einige, wie das Radium und seine Emanation, als chemische Elemente mit allen denselben zukommenden Eigenschaften nachgewiesen sind. Wir haben also hier den Zerfall eines chemischen Elementes in mehrere andere chemische Elemente vor uns, eine Tatsache, die noch vor wenigen Jahrzehnten als unmöglich zurückgewiesen worden wäre.

Das Uranatom sendet bei seinem Zerfall allem Anscheine nach zwei $\alpha$-Strahlen aus, wenigstens ist seine $\alpha$-Strahlung doppelt so stark als die seiner Gleichgewichtsmenge Radium. Die Reichweite der $\alpha$-Strahlen beträgt nach den Versuchen von *Geiger* 2·7 *cm*. In letzter Zeit haben *Geiger* und *Nuttall* gefunden, daß die 2 $\alpha$-Strahlen des Uranatoms verschiedene Reichweiten, nämlich von 2·5 *cm* und 2·9 *cm* besitzen, und daß es nicht unwahrscheinlich ist, daß die $\alpha$-Strahlen von 2·9 *cm* einem hypothetischen Zerfallsprodukt des Urans von 2 Millionen Jahren Halbwertszeit angehören.

Von anderer Seite sind als Reichweite der $\alpha$-Strahlen die Werte 2·7 und 1·7 *cm* gefunden worden *(Koch,* Frl. *Friedmann)*. Die Zerfallsperiode des Urans wird auf etwa 5000 Millionen Jahre geschätzt, d. h. nach 5000 Millionen Jahren ist von einer gegebenen Menge Uran die Hälfte in das inaktive Endprodukt seiner ganzen Umwandlungsreihe umgewandelt.

Das unmittelbare Zerfallsprodukt des Urans ist das schon erwähnte Uran X. Dieses besitzt, abgesehen von seiner charakteristischen Radioaktivität, auch bestimmte chemische Eigenschaften, denen zufolge es vom Uran getrennt werden kann. Wenn z. B. in einer Uranlösung Barium als Sulfat fällt, so bleibt das Uran in Lösung, während das Uran X sich bei der Bariumfällung befindet.

Das Uran X sendet $\beta$- und $\gamma$-Strahlen aus: die $\beta$-Strahlen sind teils sehr langsam und daher leicht absorbierbar, teils sehr schnell und durchdringend. Uran X zerfällt nach den neuesten Messungen von *Soddy* zur Hälfte in 24·6 Tagen. Das direkte Produkt, das hierbei entsteht, ist nicht sicher bekannt. In letzter Zeit zeigte *Antonoff*, daß die langsame $\beta$-Strahlung nicht nur vom Uran X, sondern von einem gleichzeitig vom Uran mit dem Uran X abgetrennten Körper Uran Y herrührt. Uran Y läßt sich vom Uran X unter geeigneten Umständen trennen und besitzt eine Halbwertszeit von 1·5 Tagen. Doch ist seine Stellung in der Uranreihe eine ganz eigenartige, denn es ist weder das Mutterprodukt des Uran X, noch entsteht es aus demselben, sondern es entsteht nach der Annahme seines Entdeckers ebenso wie das Uran X unmittelbar aus dem Uran: d. h. ein Teil der Uranatome zerfällt im Uran X, ein anderer, und zwar äußerst kleiner Teil, verwandelt sich in Uran Y. Die Annahme, daß die Atome eines radioaktiven Körpers auf zwei verschiedene Arten zerfallen können, ist im Laufe der letzten Forschungen wiederholt zur Erklärung auf andere Weise nicht zu deutender Erscheinungen herangezogen worden. Weitere Beispiele werden wir noch kennen lernen.

## Ionium.

Es wurde bereits erwähnt, daß das direkte Umwandlungsprodukt des Uran X nicht sicher bekannt ist. Aber schon seit langem stand es fest, daß sich das Uran über irgend welche Zwischenstufen hindurch in Radium verwandeln müsse. Denn da schon verhältnismäßig früh erkannt wurde, daß das Radium eine Halbwertszeit von etwa 1800 Jahren besitzt, so konnte seine Anwesenheit in Mineralien nur dadurch erklärt werden, daß es in den Mineralien ständig nachgebildet wird. Das zeigt eine einfache Rechnung. Das Radium zerfällt in 1800 Jahren zur Hälfte, d. h. von 1 *g* Radium ist nach 1800 Jahren nur mehr $^1/_2$ *g*, nach 3600 Jahren nur mehr $^1/_4$ *g* usw. als Radium vorhanden. Nach 50.000 Jahren wäre unter der Voraussetzung, daß die Erde ursprünglich aus reinem Radium bestanden hätte, nicht einmal mehr soviel Radium vorhanden, als wir heute in einer gewöhnlichen Pechblende finden. Nun ist die feste Erdkruste sicher viel älter als 50.000

Jahre, ihr Alter wird auf einige hundert Millionen Jahre geschätzt, und das Vorhandensein von Radium kann daher nur durch eine fortwährende Entstehung aus einem Körper mit längerer Lebensdauer erklärt werden. Dabei war es von vornherein klar, daß nur das Uran oder ein Zerfallsprodukt desselben als Muttersubstanz des Radiums in Betracht käme. Dafür sprach nicht nur der Umstand, daß alle Uranmineralien und nur solche Radium enthalten, sondern daß auch das Verhältnis der Uran- und Radiummenge in den Mineralien konstant ist. Jedes beliebige Uranmineral enthält pro Gramm Uran $3{\cdot}4 \times 10^{-7}\,g$ Radium. Man kann daher aus dem Urangehalt eines Minerals auf den Radiumgehalt schließen und umgekehrt in uranarmen Mineralien aus dem Radiumgehalt die Urammenge bestimmen. Denn die elektroskopischen Methoden sind viel empfindlicher als die empfindlichsten Methoden der analytischen Chemie und lassen noch das Vorhandensein von $10^{-12}\,g$ Radium erkennen. Natürlich gilt die Konstanz des Verhältnisses der Uran- und Radiummenge nur für Mineralien, die alt genug sind, um Uran mit Radium im Gleichgewicht zu erhalten und die nicht durch äußere Einflüsse Veränderungen in ihrer Zusammensetzung erfahren haben.

Nachdem die genetische Beziehung des Radiums zum Uran festgestellt war, handelte es sich darum, seine direkte Muttersubstanz zu finden und es wurde bald erkannt, daß diese nicht das Uran resp. Uran X selbst sein kann. Wenn das Radium direkt aus dem Uran X entstände, so müßte man unter Berücksichtigung der Lebensdauer des Radiums aus 1 *kg* radiumfreiem Uran schon nach einem Tage die Bildung von Radium nachweisen können. Da diesbezügliche, sehr sorgfältige Versuche ein negatives Resultat ergaben, so mußte man daraus schließen, daß zwischen dem Uran X und dem Radium ein Zwischenprodukt von langer Lebensdauer vorhanden ist. Es ist dies das eingangs kurz erwähnte Jonium.

Der erste, dem es gelang, die Muttersubstanz des Radiums aus Uranmineralien abzuscheiden und die Bildung des Radiums aus derselben nachzuweisen, war *Boltwood*. Er zeigte, daß sie $\alpha$-Strahlen aussendet, d. h. daß ihre Umwandlung in Radium von der Bildung von Helium begleitet ist.

Unabhängig von *Boltwood* fand *Hahn* die Muttersubstanz des Radiums in Thoriumsalzen und zeigte, daß sie den Reaktionen des Thoriums folgt. Auch *Marckwald* und *Keetman* wiesen die Existenz des neuen Elementes nach und haben später dessen chemische Eigenschaften genauer untersucht. Wir wissen heute, daß das Jonium seinem chemischen Verhalten nach zu dem Thorium gehört, $\alpha$-Strahlen von der Reichweite $2{\cdot}8$ *cm* aussendet und sich dabei in Radium umwandelt. Seine Halbwertszeit wird nach verschiedenen indirekten Methoden auf etwa 200.000 Jahre geschätzt.

## Radium.

Die chemischen Eigenschaften des Radiums sind schon weiter oben dargelegt worden und seien daher hier nur zusammenfassend wiederholt.

Es gehört zur Gruppe der Erdalkalien und besitzt ein Atomgewicht von 226·4 nach Frau *Curie*, von 225·95 nach *Hönigschmid*. Da Uran sich unter Aussendung von 2 $\alpha$-Strahlen, also 2 Heliumatomen (vom Atomgewicht 4) in Jonium umwandelt und das Joniumatom unter Abgabe von einem $\alpha$-Strahl in Radium zerfällt, so sollte das Atomgewicht des Radiums um 12 Einheiten kleiner sein als das des Urans. Das Atomgewicht des Urans beträgt 238·4, so daß nach der Theorie Radium das Atomgewicht 226·4 besitzen müßte. Unter der Voraussetzung, daß das Atomgewicht des Urans hinlänglich genau bestimmt ist, liegt der *Curie*sche Wert dem theoretischen näher als der von *Hönigschmid*, doch sind, wie schon erwähnt, die *Hönigschmid*schen Versuche nach neueren Methoden ausgeführt worden.

Um die Aktivität des Radiums selbst zu untersuchen, muß man es von seinen Zerfallsprodukten befreien. Da das unmittelbare Umwandlungsprodukt des Radiums, die Radiumemanation, ein Gas ist, so kann man es leicht entfernen, indem man das Radium, falls man es in Lösung hat, mehrere Stunden kocht, oder, wenn es als festes Salz vorliegt, längere Zeit glüht. Die Radiumemanation wird dabei vertrieben und der aktive Niederschlag ist, da er eine viel kürzere Lebensdauer als die Emanation hat, schon nach einigen Stunden praktisch vollkommen verschwunden. Dadurch, daß man mehrere (4—5) Stunden lang die Radiumlösung kocht, wird die während des Zerfalls des aktiven Niederschlags nachgebildete Emanation immer wieder ausgetrieben und man erhält so Radium frei von seinen Zerfallsprodukten oder, wie man es oft bezeichnet, Radium im Minimum seiner Aktivität.

Das Radium sendet selbst $\alpha$-Strahlen aus und verwandelt sich dabei in Radiumemanation. Die Reichweite seiner $\alpha$-Strahlen beträgt 3·5 *cm*. Außerdem besitzt es noch zwei Gruppen verhältnismäßig leicht absorbierbarer $\beta$-Strahlen.

Ein entemaniertes Radium zeigt infolge der Nachbildung der Emanation und des aktiven Niederschlages einen zeitlichen Anstieg sowohl seiner $\alpha$- als seiner $\beta$-Strahlung. Da sich die $\alpha$-Aktivität des Radiums an der gesamten Aktivität, wenn das Radium sich im Gleichgewicht mit der Emanation und dem aktiven Niederschlag befindet, zu etwa 25% beteiligt, so wird die $\alpha$-Aktivität eines entemanierten Radiumpräparates durch die Nachbildung seiner Umwandlungsprodukte rund 4mal so stark. Die $\beta$-Strahlung des Radiums selbst ist, wie schon erwähnt, sehr absorbierbar und beteiligt sich daher in den üblichen Ionisationsapparaten nur zu wenigen Prozenten, so daß die $\beta$-Strahlung eines ursprünglich entemanierten Radiums durch die Nachbildung der Zerfallsprodukte das 50—100fache ihres Anfangswertes erreicht. Nach ungefähr einem Monat ist ein entemaniertes Radium wieder im Gleichgewicht mit seinen Zerfallsprodukten, d. h. es ist dann der Zustand erreicht, bei dem das Radium ebensoviel Emanation bildet als in derselben Zeit zerfällt.

Bei diesen Umwandlungsprozessen erleidet das Radium selbst natürlich eine Abnahme seiner Menge, aber, da die Anzahl der pro Sekunde zer-

fallenden Radiumatome außerordentlich klein ist gegen die Zahl der vorhandenen Radiumatome, so läßt sich die durch die Umwandlung bedingte Abnahme des Radiums nur durch indirekte Methoden nachweisen. Eine solche bietet sich z. B. durch die Kenntnis der Radiummenge, die im Gleichgewicht mit einer gegebenen Menge Ionium ist, und aus der Menge Radium, die von der gleichen Menge radiumfreien Ioniums in einer bebestimmten Zeit, etwa pro Jahr, erzeugt wird. Dieser Weg ist von *Boltwood* u. a. eingeschlagen worden. Es wurde ein derartiger Versuch mit einer radiumfreien Ioniumlösung ausgeführt, die aus Uran extrahiert war und $1{\cdot}07 \cdot 10^{-5}\,g$ Radium im Gleichgewicht entsprach. Die Zunahme an Radium pro Jahr ergab sich zu $3{\cdot}72 \times 10^{-9}\,g$, d. h. diese Menge wurde in einem Jahr vom Ionium nachgebildet. Daraus kann man leicht berechnen, daß die Hälfte der oben angegebenen Gleichgewichtsmengen in 1990 Jahren nachgebildet ist. Also ist die Zerfallsperiode oder Halbwertszeit des Radiums 1990 Jahre. Indeß hat dieser Wert durch eine genaue, von *Rutherford* und *Geiger* ausgeführte Bestimmung noch eine gewisse Verringerung erfahren. Es ist schon oben erwähnt worden, daß die Eigenschaft der $\alpha$-Strahlen, auf Zinksulfid Szintillationen zu erzeugen, es ermöglicht, die von einer bekannten Menge einer radioaktiven Substanz pro Zeiteinheit ausgesendeten $\alpha$-Teilchen zu zählen, und daß nach *Rutherford* und *Geiger* die Zahl der $\alpha$-Teilchen, die 1 $g$ Radium (frei von seinen Zerfallsprodukten) pro Sekunde aussendet, $3{\cdot}4 \times 10^{10}$ beträgt. Da nun jedem ausgesendeten $\alpha$-Teilchen ein zerfallendes Radiumatom entspricht, so zerfallen von 1 $g$ Radium $3{\cdot}4 \cdot 10^{10}$ Atome pro Sekunde. Nun enthält, wie sich aus der sogenannten *Loschmidt*schen Zahl (Anzahl der Moleküle pro Kubikzentimeter) ergibt, 1 $g$ Radium $2{\cdot}7 \times 10^{21}$ Atome; wenn von diesen pro Sekunde $3{\cdot}4 \cdot 10^{10}$ zerfallen, so zerfällt die Hälfte aller Atome ($= 1{\cdot}35 \cdot 10^{21}$) in 1760 Jahren. Die Halbwertszeit des Radiums beträgt demnach 1760 Jahre. Dieser Wert ist der heute allgemein anerkannte. Aus der Zerfallsperiode des Radiums läßt sich die des Urans ermitteln. Wir haben schon oben betont, daß, wenn eine radioaktive Substanz aus einer anderen entsteht, ihre Gleichgewichtsmengen im Verhältnis ihrer Halbwertszeiten stehen. Nun entspricht 1 $g$ Uran im Gleichgewicht $3{\cdot}4 \times 10^{-7}\,g$ Radium, also muß die Halbwertszeit des Uran sich zu der des Radiums wie $1 : 3{\cdot}4 \times 10^{-7}$ verhalten, d. h. $= 5{\cdot}5 \cdot 10^{9}$ Jahre betragen.

## Die Radiumemanation.

Die Radiumemanation ist das unmittelbare Zerfallsprodukt des Radiums, d. h. ein Atom Radium spaltet sich in ein Heliumatom ($\alpha$-Strahl) und ein Atom Emanation. Ihren chemischen Eigenschaften nach gehört die Emanation zur Gruppe der Edelgase. Sie gehorcht den gewöhnlichen Gasgesetzen und verflüssigt sich beim normalen Druck (760 *mm*) bei $-65^{\circ}$ C. Die kritische Temperatur liegt bei $104{\cdot}5^{\circ}$ C, bei $-71^{\circ}$ C wird sie fest. Holzkohle absorbiert bei gewöhnlicher Temperatur sehr stark die

Radiumemanation, gibt sie aber, auf Rotglut erhitzt, wieder ab. Das Spektrum der Emanation wurde von *Rutherford* und *Royds* aufgenommen, es ist besonders im Grünen und Violetten sehr glänzend, und die Zahl der beobachteten Linien beträgt etwa 100. Verläßliche Bestimmungen des Atomgewichtes wurden erst in letzter Zeit von *Ramsay* und *Gray* einerseits, *Debierne* andrerseits durchgeführt. *Debierne* bediente sich der alten *Bunsen*schen Methode, das Atomgewicht aus der Ausströmungsgeschwindigkeit durch eine kleine Öffnung zu bestimmen und fand so für das Atomgewicht der Emanation den Wert 220. *Ramsay* und *Gray* bestimmten die Dichte der Radiumemanation durch direkte Wägung auf einer besonders konstruierten Mikrowage und erhielten im Mittel für das Atomgewicht den Wert 223. Der theoretisch zu erwartende Wert ergibt sich aus der Überlegung, daß das Emanationsatom aus dem Radiumatom durch Abspaltung eines Heliumatoms entsteht, sonach das Atomgewicht des Radiums vermindert um das des Heliums, also rund $226—4 = 222$ besitzen muß.

Eine sehr wichtige radioaktive Konstante ist das Volumen der Emanation, die sich mit einem Gramm Radium im Gleichgewicht befindet. Berechnen läßt sich das Volumen leicht, wenn man die Anzahl der aus 1 *g* Radium pro Sekunde gebildeten Emanationsatome $3{\cdot}4 \cdot 10^{10}$ mit der mittleren Lebensdauer der Emanation 474.000 Sekunden multipliziert. Man erhält dabei die einem Gramm Radium entsprechende Anzahl von Emanationsatomen, nämlich $= 1{\cdot}61 \cdot 10^{16}$. Da 1 $cm^3$ eines beliebigen Gases $2{\cdot}7 \cdot 10^{19}$ Moleküle (resp. bei einatomigen Gasen Atome) enthält, so nehmen die $1.61 \cdot 10^{16}$ Atome einen Raum ein von 0·60 $mm^3$. Diese auf Grund radioaktiver Daten berechnete Zahl wurde von *Rutherford* experimentell nachgeprüft. Die Emanation von 0·25 *g* Radium wurde sehr sorgfältig gereinigt und der Grad der erreichten Reinheit durch Aufnahme des Spektrums kontrolliert. Um das gemessene Volumen der Emanation einer bestimmten Radiummenge zu ordnen, wurde seine $\gamma$-Strahlung mit der einer bekannten Radiummenge verglichen. Dieser Vergleich ist einwandfrei, weil die bei der üblichen Anordnung gemessenen $\gamma$-Strahlen nur von den Zerfallsprodukten der Emanation herrühren und daher ein direktes Maß für dieselbe bieten. *Rutherford* fand so für die 1 *g* Radium entsprechende Emanationsmenge bei drei Versuchen die Werte 0·59, 0·58 und 0·66 $mm^3$, Zahlen, deren Mittel mit dem theoretischen Wert sehr gut übereinstimmt.

Auf dem im Jahre 1910 in Brüssel stattgehabten Radiumkongreß wurde nach dem Vorschlage von *Rutherford* diese wichtige Konstante mit einem besonderen Namen belegt, sie wurde 1 Curie genannt. Ein Curie ist also die Menge Radiumemanation, die mit 1 *g* Radium sich im radioaktiven Gleichgewicht befindet. Der tausendste Teil davon ist als Millicurie zu bezeichnen usw.

Wie schon erwähnt, wird die Abgabe von Emanation seitens der Radiumsalze durch Erhitzen derselben oder Auflösen sehr begünstigt. Aus

einer Lösung kann man die Emanation entweder dadurch gewinnen, daß man die Lösung kocht und die sich bildenden Dämpfe und Gase über Wasser auffängt oder indem man durch die Lösung Luft hindurchsaugt, die die Emanation mit sich führt. Viele Radiumpräparate geben aber auch im festen Zustand, besonders wenn sie feucht sind, einen beträchtlichen Teil ihrer Emanation ab; außerdem hat auch die Art der Radiumverbindung einen Einfluß. Beispielsweise emaniert Radiumchlorid stärker als Radiumsulfat.

Die Halbwertszeit der Emanation beträgt 3·85 Tage, d. h. nach 3·85 Tagen ist von einer gegebenen Menge Radiumemanation die Hälfte in die folgenden Produkte verwandelt. Da die Umwandlungsprodukte der Radiumemanation, der aktive Niederschlag, feste Körper sind, so werden beim Entfernen der Emanation diese Produkte nicht mit der Emanation mitgenommen, sondern sie verbleiben beim Radium. Ihre Halbwertszeiten sind viel kleiner als die der Emanation und die Folge davon ist, daß die Aktivität der ausgetriebenen Emanation infolge der Nachbildung des aktiven Niederschlages zunächst zunimmt und nach rund drei Stunden ihr Maximum erreicht. Dann erst wird die Aktivitätsabnahme infolge des Zerfalls der Emanation bemerkbar. Natürlich zeigen die entemanierten Radiumpräparate das umgekehrte Verhalten, sie nehmen zuerst infolge des Zerfalls des aktiven Niederschlages ab, erreichen nach drei Stunden ein Minimum der Aktivität und erst dann macht sich die Nachbildung der Emanation in einer Aktivitätszunahme bemerkbar. Nach 4 Wochen ist das Radium wieder mit seiner Emanation im Gleichgewicht.

Die Radiumemanation sendet $\alpha$-Strahlen von 4·23 *cm* Reichweite aus. Frisch einem Radiumpräparat entnommene Emanation gibt nur $\alpha$-Strahlen ab. Da aber der aktive Niederschlag alle drei Strahlenarten emittiert, so werden von Radiumemanation im Gleichgewicht mit ihren Zerfallsprodukten $\alpha$-, $\beta$- und $\gamma$-Strahlen ausgesendet.

## Der aktive Niederschlag des Radiums.

Unter dem Namen „aktiver Niederschlag“ faßt man sämtliche Umwandlungsprodukte, die nach der Emanation kommen, zusammen. Sie verhalten sich durchweg wie feste Körper. Man unterscheidet gewöhnlich zwischen dem schnell zerfallenden und dem langsam zerfallenden aktiven Niederschlag. Dem schnell zerfallenden aktiven Niederschlag gehören die drei ersten Zerfallsprodukte der Radiumemanation, nämlich Radium A, Radium B und Radium C an.

Radium A entsteht unmittelbar durch den Zerfall der Emanation, es sendet $\alpha$-Strahlen von 4·83 *cm* Reichweite aus und verwandelt sich in 3·0 Minuten zur Hälfte in Radium B. Radium B verwandelt sich in 26·7 Minuten unter Aussendung von $\beta$- und $\gamma$-Strahlen in Radium C, das $\alpha$-, $\beta$- und $\gamma$-Strahlen emittiert und in 19·5 Minuten zur Hälfte in den später zu be-

sprechenden, langsam zerfallenden aktiven Niederschlag zerfällt. Die $\alpha$-Strahlen des Radium C besitzen unter allen $\alpha$-Strahlen der Uranreihe die größte Reichweite, die 7·06 *cm* beträgt. Ebenso sind seine $\beta$- und $\gamma$-Strahlen sehr durchdringend. Die verschiedene Verteilung der Strahlenarten auf die Produkte des aktiven Niederschlages bedingt es, daß, je nachdem welche Strahlenart man zur Untersuchung benutzt, die zeitliche Abklingung verschieden erscheint. Hat man Radium A+B+C im Gleichgewicht und mißt die $\alpha$-Strahlung, so beobachtet man in den ersten Minuten nach der Entfernung aus der Emanation zunächst einen sehr schnellen Abfall der Aktivität entsprechend der kurzen Lebensdauer des Radium A; dann bleibt die Aktivität eine Zeitlang fast konstant und nimmt schließlich mit der dem Radium B zugehörigen Halbwertszeit von 26·7 Minuten ab. Mißt man aber $\beta$- oder $\gamma$-Strahlen, so erfolgt die Abnahme von vornherein langsamer als mit 26·7 Minuten Halbwertszeit und erst nach etwa einer Stunde erfolgt die Abklingung mit der Zerfallsgeschwindigkeit des Radium B; denn das nur $\alpha$-Strahlen emittierende, schnell zerfallende Radium A macht sich ja bei den $\beta$- resp. $\gamma$-Messungen nicht selbst bemerkbar, bildet aber Radium B und C nach, wodurch die anfänglich zu langsame Abnahme dieser Produkte erklärt wird. Es gilt für die zeitliche Änderung eines Gemisches aus einander entstehender Substanzen im radioaktiven Gleichgewicht ganz allgemein die Regel: Besitzt das Mutterprodukt der übrigen Substanzen die längste Lebensdauer, so ist immer diese für den Zerfall maßgebend. Wenn aber die vorhergehenden Produkte kürzere Lebensdauer besitzen als die folgenden und man die von ihnen ausgesendeten Strahlen zur Untersuchung der Aktivität verwendet, so erfolgt die zeitliche Änderung zunächst entsprechend dieser kürzeren Lebensdauer; sie kann dann auf kurze Zeit sehr langsam werden, entspricht aber schließlich wieder dem Wert der Abklingungszeit des langlebigsten Produktes der Reihe. Ein Beispiel hierfür ist der oben besprochene Fall von Radium A+B+C im Gleichgewicht.

Um den aktiven Niederschlag getrennt von der Emanation zu erhalten, kann man entweder die Emanation einige Stunden in einem geschlossenen Gefäß sich selbst überlassen. Der aktive Niederschlag setzt sich dabei an den Gefäßwänden fest, von wo er durch Behandeln mit verdünnter Säure abgelöst werden kann. Oder man kann in ein die Radiumlösung oder auch ein festes, aber emanierendes Radiumsalz enthaltendes Gefäß eine Metallplatte isoliert einführen. Gefäß und Radiumpräparat werden positiv, die Platte negativ geladen (110 Volt sind hierzu ausreichend). Der aktive Niederschlag sammelt sich dann an der negativen Platte, von wo er wieder leicht abgelöst werden kann. Die Möglichkeit, den aktiven Niederschlag an der negativen Elektrode zu sammeln, beweist, daß er eine positive Ladung besitzen muß. Läßt man die Platte nur wenige Minuten im geladenen Zustand, so sammelt sich hauptsächlich nur Radium A an. Um alle drei Produkte im Gleichgewicht zu erhalten, muß man die Platte etwa drei Stunden lang exponieren. Hat man es aber gerade auf eine

getrennte Untersuchung der einzelnen Substanzen abgesehen, so kann man, wie oben erwähnt, Radium A durch kurze Expositionen negativ geladener Platten oder Drähte erhalten. Ferner kann man aus einer Lösung von Radium B+C nach *v. Lerch* Radium C durch Eintauchen von Nickelblechen in die Lösung auf dem Nickel fast quantitativ niederschlagen und erhält so in der Lösung fast reines Radium B. Dieses bildet natürlich Radium C wieder nach und ist nach einiger Zeit wieder mit Radium C im Gleichgewicht.

Es sei hier noch bemerkt, daß *Hahn* und *Meitner* im Radium C das Vorhandensein eines Körpers von der Lebensdauer von etwa 1 Minute nachgewiesen haben, der dann von *Fajans* genauer untersucht wurde. *Fajans* bestimmte seine Halbwertzeit zu 1·4 Minuten und wies nach, daß er nicht in die Hauptreihe eingefügt werden kann, sondern einen seitlichen Zerfall des Radiums C vorstellt, das sich zum weitaus größten Teil in einen viel beständigeren Körper, das Radium D umwandelt. *Fajans* hat somit zum erstenmal den experimentellen Nachweis einer sogenannten Seitenlinie erbracht, dem sich dann später die Auffindung des schon oben genannten Uran Y anschloß.

Der weitaus größte Teil von Radium C zerfällt, wie schon erwähnt, in Radium D, das das Ausgangsprodukt des langsam zerfallenden Niederschlages bildet. Es ist mit dem weiter oben erwähnten Radioblei identisch. Es folgt den chemischen Reaktionen des Bleies, so daß es sich bei der Herstellung von Radium aus Uranmineralien bei den Bleifällungen (meistens Bleichlorid) vorfindet. Es ist vorläufig noch nicht gelungen, es vom Blei zu trennen. Da es eine lange Lebensdauer hat — nach den neuesten Bestimmungen von *Antonoff* beträgt seine Halbwertszeit 16·5 Jahre — und da es bei der Herstellung des Radiums von diesem abgetrennt wird, so finden sich größere Mengen Radium D nur in verhältnismäßig älteren Radiumpräparaten. Die einem Gramm Radium entsprechende Gleichgewichtsmenge von Radium D berechnet sich aus dem Verhältnis der Halbwertszeiten zu etwa 9·3 *mg*. Die in den Handel kommenden Radiumpräparate enthalten ursprünglich gar kein Radium D, nach 16·5 Jahren ist die Hälfte der Gleichgewichtsmenge nachgebildet, nach 33 Jahren $^3/_4$ usf. Daher nehmen alle Radiumpräparate viele Jahre lang, wenn auch langsam, zu. Will man sich Radium D herstellen, so kann man das in der Weise tun, daß man nach der oben angegebenen Methode eine negativ geladene Platte mehrere Tage oder Wochen in emanierenden Radiumlösungen exponiert. Man erhält dann außer Radium A+B+C auch noch einen der Expositionsdauer entsprechenden Prozentsatz von Radium D plus seinen Zerfallsprodukten. Nach wenigen Stunden ist der schnell zerfallende Niederschlag verschwunden und man behält nur den langsam zerfallenden, nämlich Radium D+E+F zurück. Geeigneter für die Herstellung größerer Mengen Radium D sind alte Radiumlösungen, aus denen man nach Zusatz von Spuren Blei das Radium D mit Schwefelwasserstoff leicht abtrennen kann.

Radium D galt ursprünglich als strahlenlos, d. h. seine Umwandlung in das folgende Produkt Radium E schien ohne Aussendung von Strahlen zu erfolgen. Die photographischen Versuche von *v. Baeyer, Hahn* und *Meitner* haben aber gezeigt, daß Radium D mehrere Gruppen sehr langsamer, also sehr leicht absorbierbarer $\beta$-Strahlen aussendet, die mit den üblichen elektroskopischen Methoden nicht mehr nachweisbar sind und daher der Beobachtung entgangen waren.

Da Radium D sich vom Blei nicht trennen läßt, so sind seine speziellen Eigenschaften trotz seiner langen Lebensdauer nicht bekannt. In den Handel kommt es in der Form des aus der Pechblende gewonnenen Bleichlorids. Aus diesem kann zwar nicht das Radium D, wohl aber seine Zerfallsprodukte Radium E und Radium F (Polonium) gewonnen werden.

Das Radium E ist das unmittelbare Umwandlungsprodukt des Radium D. Es läßt sich von diesem durch Erhitzen trennen, da es weniger flüchtig ist als Radium D. Aus dem Radium D-haltigen Bleichlorid kann man es durch Lösen des Bleichlorids in heißem Wasser und nachheriges Auskrystallisieren in der Kälte gewinnen. Radium D krystallisiert mit dem Bleichlorid aus, während Radium E und Radium F in Lösung bleiben. Taucht man in eine derartige Lösung ein Nickelblech, so scheidet sich auf demselben Radium E und zum mindesten ein Teil des Radium F ab. Das letztere läßt sich verhindern, wenn man vorher einen Wismutstab in die Lösung taucht, auf dem sich das Radium F niederschlägt.

Radium E sendet sehr kräftige $\beta$-Strahlen aus, die merkwürdigerweise nur von geringen $\gamma$-Strahlen begleitet sind. Es zerfällt in 5 Tagen in das letzte radioaktive Produkt der Uran-Radiumreihe, in das Radium F, das, wie *Rutherford* u. A. nachwiesen, mit dem Polonium identisch ist.

Die wesentlichen Eigenschaften des Radium F sind schon eingangs erwähnt worden. Es sendet $\alpha$-Strahlen von der Reichweite von 3·86 *cm* aus und zerfällt in 136 Tagen zur Hälfte in ein nicht mehr aktives Produkt, das also das Endprodukt der ganzen Umwandlungsreihe des Urans vorstellen muß. Viele Momente sprechen dafür, daß dieses letzte inaktive Produkt das gewöhnliche Blei ist. So beträgt das Atomgewicht des Radiums 226; bei dessen allmählicher Umwandlung bis über das Polonium werden 5 $\alpha$-Strahlen, also 5 Heliumatome emittiert. Es resultiert also ein Atom vom Atomgewicht $226 - 5 \times 4 = 206$. Das Atomgewicht des Bleies ist 207, also sehr nahe dieser Zahl, besonders wenn man bedenkt, daß die Atomgewichte von Radium und Helium noch nicht als absolut genau bestimmt anzusehen sind.

Außerdem enthalten alle Uranmineralien Blei, und zwar die geologisch älteren immer mehr als diejenigen, die jüngeren Formationen angehören, in denen also der radioaktive Umwandlungsprozeß noch nicht so lange angedauert hat.

In jüngster Zeit hat Frau *Curie* sehr starke Poloniumpräparate hergestellt, und es steht daher zu erwarten, daß es in nicht zu langer Zeit gelungen sein wird, auch den direkten Nachweis der Umwandlung von Polonium in Blei zu erbringen.

Übersicht der Produkte der Uran-Radiumreihe.

| | Halbwertszeit | Strahlenart | Reichweite der α-Strahlen in Luft |
|---|---|---|---|
| Uran | $5{\cdot}5.10^9$ Jahre | α | 2·9 u. 2·5 *cm* |
| Uran X | 24·6 Tage | β und γ | — |
| (Uran Y) | (1·5 Tage) | β | — |
| Ionium | etwa 200.000 Jahre | α | 3·0 „ |
| Radium | 1760 Jahre | α und β | 3·5 „ |
| Radiumemanation | 3·85 Tage | α | 4·23 „ |
| Radium A | 3·0 Minuten | α | 4·83 „ |
| Radium B | 26·7 „ | β und γ | — |
| Radium C | 19·5 „ | α, β und γ | 7·06 „ |
| (Radium $C_1$) | (1·4 „ ) | β | — |
| Radium D | 16·5 Jahre | sehr langsam β | — |
| Radium E | 5 Tage | β | — |
| Radium F (Polonium) | 136 Tage | α | 3·86 „ |
| Blei | ? | — | — |

## Die Umwandlungsreihe des Thoriums.

### 1. Thorium, Mesothorium, Radiothorium und Thorium X.

Das Thorium bildet das Anfangsglied der zweiten Reihe radioaktiver Umwandlungsprodukte. Es ist ein seit langem bekanntes chemisches Element, das zur Gruppe der seltenen Erden gehört, das Atomgewicht 232·4 besitzt und sich unter Aussendung von α-Strahlen in etwa 1000 Millionen Jahren zur Hälfte in seine Zerfallsprodukte verwandelt. Am häufigsten kommt es im Monazitsand in Brasilien vor, der das allgemeine Ausgangsmaterial für das technisch hergestellte Thorium bildet.

Das unmittelbare Umwandlungsprodukt des Thoriums ist das schon erwähnte Mesothorium. Mit der Bezeichnung Mesothorium umfaßt man heute 2 Körper, das Mesothorium 1, das direkte Zerfallsprodukt des Thoriums, und das Mesothorium 2, das aus dem Mesothorium 1 entsteht. Da Mesothorium 2 eine Halbwertszeit von 6·2 Stunden, Mesothorium 1 eine solche von 5·5 Jahren besitzt, so ist Mesothorium 1 wenige Tage nach seiner Herstellung im Gleichgewicht mit Mesothorium 2. Das Mesothorium 1 gehört seinen chemischen Eigenschaften nach zur Gruppe der

Erdalkalien. Bei der technischen Verarbeitung der Thoriummineralien zu Thorium bleibt es bei den Rückständen, aus denen es seit einigen Jahren in größeren Mengen hergestellt wird, und zwar als Bromid. Seine Umwandlung in Mesothorium 2 erfolgt ohne nachweisbare Strahlenemission. Mesothorium 2 hingegen besitzt eine sehr starke $\beta$- und $\gamma$-Strahlung, die im Durchschnitt etwas absorbierbarer ist als die der Zerfallsprodukte des Radiums, und verwandelt sich in 6·2 Stunden zur Hälfte in das folgende Umwandlungsprodukt der Thoriumreihe, das Radiothor. Neben den eigentlichen schnellen, also durchdringenden $\beta$-Strahlen besitzt Mesothorium 2 noch mehrere Gruppen sehr leicht absorbierbarer $\beta$-Strahlen, die bei der üblichen Anordnung elektroskopisch nicht mehr nachgewiesen werden können.

Das Radiothor folgt den chemischen Reaktionen des Thoriums, von dem es nicht getrennt werden kann. Um es für sich darzustellen, trennt man es von Mesothoriumpräparaten ab, die alt genug sind, um Radiothor in größeren Mengen zu enthalten. Die Halbwertszeit des Radiothor beträgt 2·0 Jahre. Seine Umwandlung erfolgt unter Aussendung von $\alpha$-Strahlen von 3·9 *cm* Reichweite. Sein unmittelbares Zerfallsprodukt ist das schon genannte Thorium X. Da alle dem Radiothor folgenden Zerfallsprodukte Thorium X, die Thoriumemanation und der aktive Niederschlag eine im Verhältnis zur Lebensdauer des Radiothors sehr kurze Lebensdauer besitzen, so enthält Radiothor einen Monat nach seiner Herstellung diese Produkte im Gleichgewicht. Von solchen Radiothorpräparaten werden nicht nur $\alpha$-, sondern auch $\beta$- und $\gamma$-Strahlen (die vom aktiven Niederschlag des Thoriums herrühren) ausgesendet.

Es ergibt sich hieraus folgendes Verhalten der Mesothorpräparate: Frische Mesothorpräparate (etwa 1 Tag nach der Herstellung) senden $\beta$- und $\gamma$-Strahlen aus. Das Mesothor bildet nun Radiothor mit der Periode von 2 Jahren nach, so daß es $\alpha$-, $\beta$- und $\gamma$-Strahlen besitzt, und nimmt dabei selbst mit seiner Halbwertszeit von 5·5 Jahren ab. Dementsprechend steigt die Aktivität des Mesothors erst mehrere Jahre an, erreicht nach etwa 3 Jahren ein Maximum, nimmt dann zunächst langsamer und schließlich nach Verlauf von 10 Jahren mit der Halbwertszeit von 5·5 Jahren ab.

Es sei hier bemerkt, daß die in den Handel gebrachten Mesothorpräparate wegen der gleichen chemischen Eigenschaften des Mesothors und Radiums stets das im Ausgangsmaterial vorhandene Radium enthalten. In dem zur Herstellung gewöhnlich verwendeten brasilianischen Monazitsand kommen auf das Radium etwa 25% der gesamten Strahlungsintensität. Deshalb erfolgt die Aktivitätsänderung der Mesothorpräparate langsamer als oben angegeben wurde. Nach 10 Jahren ist die Aktivität noch etwas stärker als zur Zeit der Herstellung, nach 20 Jahren etwa halb so stark und schließlich, wenn alles Mesothor zerfallen ist, bleiben die 25% Radium übrig.

Dabei besteht aber eine gewisse Schwierigkeit in der Bestimmung der absoluten Aktivität des Mesothors, zumindest, wenn man es auf das länger bekannte Radium beziehen will. Wir haben gesehen, daß Umwand-

lungsprodukte, die derselben Zerfallsreihe angehören (beispielsweise alle Produkte der Uran-Radiumreihe), wenn sie im Gleichgewicht miteinander stehen, die gleiche Anzahl $\alpha$-Strahlen emittieren, also die gleiche $\alpha$-Strahlenaktivität besitzen. Für die $\beta$- und $\gamma$-Strahlen ist eine derartige Beziehung nicht gefunden worden und läßt sich auch selbst, wenn diese bestünde, wegen der verschiedenen Durchdringbarkeit der $\beta$- und $\gamma$-Strahlen nicht so ohne weiteres von der Uranreihe auf die Thoriumreihe übertragen. Es liegt daher in der Bestimmung der Stärke der Produkte auf Grund von $\beta$- oder $\gamma$-Strahlenmessungen eine gewisse Willkür. Praktisch bestimmt man die Intensität von Mesothor- oder Radiothorpräparaten, indem man die unter bestimmten Versuchsbedingungen durch ihre $\gamma$-Strahlen hervorgerufene Ionisation mit der einer bekannten Radiummenge vergleicht. Die Bezeichnung 1 *mg* Mesothorbromid bedeutet daher eine Mesothormenge, deren $\gamma$-Strahlung ebenso groß ist, wie die von 1 *mg* Radiumbromid. An Gewicht ist es aber viel weniger wie 1 *mg*, und zwar wegen des Verhältnisses der Lebensdauer von Mesothor und Radium etwa $^1/_{300}$ *mg*.

Das Thorium X ist das Zerfallsprodukt des Radiothors und das Mutterprodukt der Thoriumemanation. Es sendet $\alpha$-Strahlen von der Reichweite vom 5·7 *cm* und außerdem 2 Gruppen sehr absorbierbarer $\beta$-Strahlen aus, die gerade an der Grenze der elektroskopischen Nachweisbarkeit liegen. Chemisch verhält es sich wie die Erdalkalien und kann daher vom Thorium oder von seiner Muttersubstanz Radiothor durch eine Ammoniakfällung getrennt werden. Es zerfällt in 3·65 Tagen zur Hälfte in die Thoriumemanation und deren Zerfallsprodukte. Da die Thoriumemanation schon in 54 Sekunden zur Hälfte zerfällt und natürlich in der gleichen Zeit auch vom Thorium X zur Hälfte nachgebildet wird, kann man Thorium-X Präparate nicht wie das Radium für merkbare Zeit von der Emanation befreien. Radiothorpräparate kann man aber leicht durch Abtrennung des Thorium X „entemanieren".

## Die Thoriumemanation.

Die Thoriumemanation entsteht aus dem Thorium X und ist gleich der Radiumemanation ein gasförmiger Körper aus der Gruppe der Edelgase. Ihre Verflüssigungstemperatur liegt nach *Rutherford* bei —120° C; da die Emanation aber notwendigerweise immer in außerordentlicher Verdünnung in anderen Gasen zur Verwendung kommt, so kann ihre Verflüssigung nicht so plötzlich erfolgen wie die gewöhnlicher Gase und erst bei —150° C ist die Verflüssigung vollständig. Über das Atomgewicht der Thoriumemanation liegen keinerlei sichere Bestimmungen vor. *Makower* hat aus dem Vergleich der Diffusionsgeschwindigkeiten der Radium- und Thoriumemanation gefolgert, daß beide Emanationen ähnliche Atomgewichte besitzen müssen. Die Thoriumemanation zerfällt unter Aussendung von $\alpha$-Strahlen von 5·5 *cm* Reichweite zur Hälfte in 54 Sekunden.

Die verschiedenen Thoriumverbindungen geben im festen Zustand die Emanation zu sehr verschiedenem Betrage ab. Festes Thoriumnitrat und geglühtes Thoriumoxyd emanieren fast gar nicht, während Carbonat und Hydroxyd die Emanation in beträchtlicher Weise abgeben. Da die Emanation eine kurze Lebensdauer besitzt, wird sie sehr rasch von den Thoriumpräparaten nachgebildet, so daß sie denselben beständig neu entnommen werden kann. Andererseits aber muß sie darum sofort nach ihrer Entnahme verwendet werden. Aus Lösungen erhält man sie durch Durchperlen eines Luftstromes. Als feste emanierende Präparate eignen sich am besten Radiothorpräparate, da sie in verhältnismäßig sehr dünnen Schichten erhalten werden können, was für die Abgabe der Emanation sehr günstig ist.

## Der aktive Niederschlag des Thoriums.

Die Reihe der Zerfallsprodukte, die auf die Emanation folgen, werden wieder als aktiver Niederschlag bezeichnet. Sie verhalten sich wie feste Körper, die auch ganz analog wie beim Radium durch Exposition negativ geladener Metallplatten oder -drähte gegenüber emanierenden Präparaten gesammelt werden können. Das erste Zerfallsprodukt der Thoriumemanation ist erst in letzter Zeit von *Geiger* entdeckt worden und hat eine Verschiebung der bisher üblichen Bezeichnung bedingt, die hier gleichfalls vorgenommen werden soll. Danach ist der bisher als Thorium A bezeichnete Körper als Thorium B anzusprechen und analog die folgenden. Als Thorium A aber ist das von *Geiger* entdeckte unmittelbare Zerfallsprodukt der Thoriumemanation zu bezeichnen. Es besitzt die sehr kurze Halbwertzeit von 0·14 Sekunden und emittiert $\alpha$-Strahlen. Es entspricht so in seiner Stellung vollkommen dem Radium A. Seine kurze Lebensdauer erklärt, daß es so lange der Beobachtung entgangen war. Um seine Existenz nachzuweisen, wurde ein negativ geladener, in sich zurücklaufender Draht mittelst eines Motors durch ein ein emanierendes Thoriumpräparat enthaltendes Gefäß getrieben und außerhalb des Gefäßes an einem Zinksulfidschirm vorbeigeführt. Während der kurzen Zeit, die der Draht durch das Gefäß hindurchgeht, kann sich auf demselben nur das erste Zerfallsprodukt der Emanation, also eben Thorium A, ansammeln, und da es $\alpha$-Strahlen emittiert, wirkt es auf den Zinksulfidschirm und macht sich so bemerkbar. Je langsamer der Motor den Draht treibt, um so schneller nimmt die Aktivität längs des Drahtes ab, woraus sich die Zerfallsgeschwindigkeit des Produktes bestimmen läßt.

Thorium A bildet bei seinem Zerfall Thorium B. Dieses sendet sehr intensive, aber nicht sehr durchdringende $\beta$- und wahrscheinlich auch $\gamma$-Strahlen aus und verwandelt sich in 10·6 Stunden zur Hälfte in das nachfolgende Produkt Thorium C. Thorium C sendet $\alpha$-, $\beta$- und vielleicht auch $\gamma$-Strahlen aus und verhält sich ganz analog wie Radium C. Gleich

diesem kann es von den anderen Produkten des aktiven Niederschlages getrennt werden, indem man in die schwach saure Lösung des aktiven Niederschlages ein Nickelblech taucht. Thorium C schlägt sich auf dem Nickelblech nieder, während die anderen Produkte in Lösung bleiben. Es zerfällt in 60 Minuten zur Hälfte und ist vermutlich komplex, d. h. es besteht aus einem Körper von 60 Minuten Halbwertszeit und einem zweiten von außerordentlich kurzer Lebensdauer. Den Hauptgrund für die Annahme seiner komplexen Natur liefert die Tatsache, daß es zwei Gruppen von $\alpha$-Strahlen emittiert, eine von 5·0 *cm* Reichweite und eine von 8·6 *cm* Reichweite. Die ersteren sollen dem 60 Minutenkörper angehören, die letzteren, die die schnellsten $\alpha$-Strahlen sind, die wir überhaupt kennen, werden dem kurzlebigen Produkt zugeschrieben. Es besteht nämlich aller Wahrscheinlichkeit nach eine Beziehung zwischen Lebensdauer eines $\alpha$-strahlenden Produktes und Reichweite seiner $\alpha$-Strahlen, indem die $\alpha$-Strahlen umso schneller sind, also ihre Reichweite umso größer, je kürzer die Lebensdauer des betreffenden Produktes ist.

Thorium C bildet bei seinem Zerfall Thorium D. Dieses sendet $\beta$- und $\gamma$-Strahlen aus und zerfällt zur Hälfte in 3·1 Minuten in das letzte nicht mehr aktive Produkt der Thoriumreihe. Welches unserer gewöhnlichen Elemente dies vorstellt, wissen wir heute noch nicht.

Um Thorium D getrennt von den anderen Produkten des aktiven Niederschlages zu erhalten, bedient man sich am besten einer Methode, die zwar auf den allgemeinen Erscheinungen des radioaktiven Zerfalls beruht, aber praktisch besonders für Thorium D und das ihm in der Aktiniumreihe entsprechende Aktinium D in Betracht kommt und darum hier erwähnt sei.

Wenn ein radioaktives Atom ein $\alpha$-Teilchen nach irgend einer Richtung ausschleudert, so muß das übrigbleibende Atom einen Rückstoß in der entgegengesetzten Richtung erfahren, ähnlich wie ein Geschütz, aus dem ein Geschoß herausfliegt. Dadurch werden die Atome aus dem Molekülverband gelöst und da sie, wie wir schon oben erwähnten, eine positive Ladung besitzen, können sie an negativen Elektroden gesammelt werden. Die Sammlung des aktiven Niederschlags aus der Emanation beruht auch auf dieser Tatsache. Aber diese „Rückstoßmethode" erlaubt auch, einzelne Produkte des aktiven Niederschlages voneinander zu trennen. Wenn man beispielsweise den aktiven Niederschlag des Thoriums, der, wegen der kurzen Lebensdauer von Thorium A, schon wenige Sekunden nach seiner Entfernung aus der Emanation nur Thorium B + C + D enthält, positiv auflädt und 1—2 *mm* entfernt davon eine negativ geladene Platte anbringt, so sammelt sich auf dieser Thorium D an. Denn Thorium C zerfällt unter Aussendung von $\alpha$-Strahlen und die dabei resultierenden Atome, eben Thorium D, werden durch Rückstoß aus der Substanz herausgetrieben und vom elektrischen Feld an die negative Platte geführt.

Auch die Emission von $\beta$-Teilchen bedingt einen Rückstoß der Restatome, der aber wegen der 7000mal kleineren Maße der $\beta$-Teilchen auch entsprechend geringer in seiner Wirkung ist.

Übersicht der Produkte der Thoriumreihe.

| | Halbwertszeit | Strahlenart | Reichweite der $\alpha$-Strahlen |
|---|---|---|---|
| Thorium . . . . . | $10^9$ Jahre | $\alpha$ | 2·72 *cm* |
| Mesothorium 1 . . . | 5·5 Jahre | — | — |
| Mesothorium 2 . . . | 6·2 Stunden | $\beta$ und $\gamma$ | — |
| Radiothor . . . . . | 2·0 Jahre | $\alpha$ | 3·9 „ |
| Thorium X . . . . . | 3·65 Tage | $\alpha$ und $\beta$ | 5·7 „ |
| Emanation . . . . . | 53 Sekunden | $\alpha$ | 5·5 „ |
| Thorium A . . . . . | 0·14 Sekunden | $\alpha$ | — |
| Thorium B . . . . . | 10·6 Stunden | $\beta$ | — |
| Thorium C . . . . . | 60·5 Minuten | $\alpha$ und $\beta$ | 5·0 und 8·6 „ |
| ($C_1 + C_2$) | | | |
| Thorium D . . . . . | 3·1 Minuten | $\beta$ und $\gamma$ | — |

## Die Umwandlungsreihe des Aktiniums.

### 1. Aktinium, Radioaktinium und Aktinium X.

Das Aktinium bildet den Ausgangspunkt für eine dritte Reihe radioaktiver Produkte, die aber insofern den Reihen des Urans und Thoriums nicht als gleichwertig gegenübergestellt werden kann, als das Aktinium nicht als primäres Element anzusehen ist. Vielmehr besteht heute kaum ein Zweifel darüber, daß das Aktinium in einer genetischen Beziehung zum Uran steht, denn es findet sich in allen Uranmineralien vor, und augenscheinlich in einem konstanten Verhältnis.

Im Vergleich zu den Produkten der Uran-Radiumreihe ist die Menge des Aktiniums in Uranmineralien nur gering, es ist daher unwahrscheinlich, daß das Aktinium und seine Produkte in die Hauptreihe der Umwandlungsprodukte einzuordnen ist. Wahrscheinlich ist es, daß es sich beim Aktinium um eine „Seitenlinie" handelt, wie wir solche beim Radium $C_2$ und Uran Y bereits kennen gelernt haben.

Seinen chemischen Eigenschaften nach gehört das Aktinium vermutlich zu den seltenen Erden, unter denen es dem Lanthan am nächsten zu stehen scheint. Es sendet keine nachweisbaren Strahlen aus und zerfällt nach den neuesten Versuchen Mme. *Curies* in etwa 30 Jahren zur Hälfte. Diese verhältnismäßig kurze Lebensdauer steht in guter Übereinstimmung damit, daß es bisher nicht gelungen ist, trotz Verwendung sehr stark aktiver Präparate neue Linien im Spektrum der das Aktinium begleitenden seltenen Erden aufzufinden

Aktinium bildet bei seinem Zerfall das Radioaktinium, das eine Halbwertszeit von 19·5 Tagen besitzt und α-Strahlen von 4·8 *cm* Reichweite aussendet. Außerdem besitzt es noch leicht absorbierbare β-Strahlen, die schon in etwa 0·04 *mm* Aluminium zur Hälfte absorbiert werden.

Bei seiner Umwandlung bildet es das Aktinium X, das seinerseits die Muttersubstanz der Aktiniumemanation vorstellt. Aktinium X besitzt eine Halbwertszeit von etwa 11 Tagen und sendet α-Strahlen von 4·4 *cm* Reichweite aus.

## 2. Die Aktiniumemanation.

Abgesehen davon, daß die Lebensdauer der Aktiniumemanation noch beträchtlich kleiner ist, als die der Thoriumemanation, gleicht sie den beiden Emanationen in allen ihren Eigenschaften. Sie gehört zur Gruppe der Edelgase, sie verflüssigt sich zwischen —100° und —143° C und wird von allen festen Aktiniumverbindungen schon bei gewöhnlicher Temperatur leicht abgegeben. Doch macht sich auch hier ein Unterschied je nach der Art der Verbindung bemerkbar; das Oxalat emaniert am wenigsten, das Hydroxyd am besten.

Die Halbwertszeit der Aktiniumemanation beträgt 3·9 Sekunden. Sie verwandelt sich unter Aussendung von α-Strahlen von 5·8 *cm* Reichweite in das erste Produkt des aktiven Niederschlages.

## Der aktive Niederschlag des Aktiniums.

Der aktive Niederschlag des Aktiniums umfaßt 4 Produkte, dessen erstes außerordentlich kurzlebiges Produkt erst in letzter Zeit von *Geiger* entdeckt wurde und zu derselben Verschiebung der Bezeichnung geführt hat wie die Entdeckung eines sehr kurzlebigen Thoriumproduktes beim aktiven Niederschlag des Thoriums. Die Ansammlung des aktiven Niederschlages erfolgt analog der des Radiums und Thoriums an negativen Elektroden.

Das Aktinium A sendet α-Strahlen von 6·5 *cm* Reichweite aus und seine Halbwertszeit ist von *Moseley* und *Fajans* zu $^1/_{500}$ Sekunde bestimmt worden. Es zerfällt in das schon lange bekannte Aktinium B, das sich in 36 Minuten zur Hälfte umwandelt und sehr absorbierbare β-Strahlen emittiert. Sein Zerfallsprodukt, das Aktinium C, besitzt eine Halbwertszeit von 2·15 Minuten und sendet α-Strahlen von 5·4 *cm* Reichweite aus. Es schlägt sich aus Lösungen des aktiven Niederschlages auf Nickel nieder, steht also auch hierin dem Radium C und Thorium C parallel. Sein Umwandlungsprodukt, das Aktinium D, sendet β- und γ-Strahlen aus und kann ebenso wie Thorium D nach der Rückstoßmethode von den anderen Produkten des aktiven Niederschlages getrennt werden. Es verwandelt sich in 4·7 Mi-

nuten zur Hälfte in das letzte inaktive Produkt der Reihe, das nicht bekannt ist.

Übersicht der Produkte der Aktiniumreihe.

| | Halbwertszeit | Strahlenart | Reichweite der Strahlen |
|---|---|---|---|
| Aktinium . . . . . | etwa 30 Jahre | — | — |
| Radioaktinium . . . . | 19·5 Tage | $\alpha$ und $\beta$ | 4·8 *cm* |
| Aktinium X . . . . . | 11 Tage | $\alpha$ | 4·4 „ |
| Aktiniumemanation . . . | 3·9 Sekunden | $\alpha$ | 5·8 „ |
| Aktinium A . . . . . | $^1/_{500}$ Sekunde | $\alpha$ | 6·5 „ |
| Aktinium B . . . . . | 36 Minuten | $\beta$ | — |
| Aktinium C . . . . . | 2·15 Minuten | $\alpha$ | 5·4 „ |
| Aktinium D . . . . . | 4·7 Minuten | $\beta$ und $\gamma$ | — |

Schließlich sei noch erwähnt, daß auch beim Kalium und beim Rubidium eine ziemlich durchdringende $\gamma$-Strahlung beobachtet worden ist, die nicht auf etwa vorhandene Verunreinigungen durch eine der bekannten radioaktiven Substanzen zurückgeführt werden konnte.

Übersieht man die im vorliegenden kurz skizzierten Reihen radioaktiver Umwandlungsprodukte, so fallen eine ganze Anzahl von Analogien auf, die wohl kaum als zufällig bezeichnet werden können. Sieht man von den ersten Gliedern ab, so erkennt man vor allem drei chemisch völlig analoge Produkte: das Ionium, Radiothorium und Radioaktinium. Nach allem, was man bis heute weiß, haben diese derartig ähnliche chemische Eigenschaften, daß man sie nicht voneinander trennen kann.

Aber auch in radioaktiver Beziehung sind sie analog. Sie alle senden $\alpha$-Strahlen aus und bilden drei neue Substanzen, das Radium, Thorium X und Aktinium X. Diese drei verhalten sich wiederum chemisch völlig gleich, sie sind Erdalkalimetalle, die sich mit dem Barium abscheiden lassen. Wiederum geben sie $\alpha$-Strahlen aus, es resultieren drei Edelgase: Radiumemanation, Thoriumemanation, Aktiniumemanation. Aus den Edelgasen entstehen die aktiven Niederschläge, deren drei erste Glieder nach der Auffindung der kurzlebigen Thorium A- und Aktinium A-Körper durchaus einander analog sind. Und so geht es weiter in den Zerfallsreihen bis zu den D-Körpern, wo dann allerdings beim Radium noch weitere Substanzen sich anschließen, während beim Thorium und Aktinium mit den D-Körpern der Zerfall zu Ende zu sein scheint.

Es ist wohl kaum zweifelhaft, daß diesen Analogien ein ähnlicher atomistischer Bau der einzelnen Produkte zugrunde liegt, der wohl später einmal in einem periodischen System radioaktiver Elemente seinen Ausdruck finden wird. Die schon heute mehrfach unternommenen Versuche in dieser Richtung haben wegen der Lückenhaftigkeit unserer Kenntnis noch zu keinem ganz befriedigenden Resultat geführt.

## Allgemeine Erscheinungen der Radioaktivität.

Wir haben gesehen, daß die charakteristische Eigenschaft der radioaktiven Substanzen darin besteht, daß sie nach bestimmten Gesetzen korpuskulare Strahlen emittieren. Denn die Umwandlung der einzelnen Elemente ineinander wird ja nur durch die sie begleitende Emission von Strahlen nach außen hin erkennbar gemacht. Durch die Erkenntnis der Eigenschaften dieser Strahlen lassen sich denn auch eine ganze Anzahl von Erscheinungen erklären, die man bei den radioaktiven Vorgängen schon frühzeitig beobachtet hat.

Die Energie der mit etwa $^1/_{10}$ Lichtgeschwindigkeit aus dem Atom herausfliegenden $\alpha$-Strahlen zeigt, daß die Atomumwandlungen derartig explosiv verlaufen, daß es zu verstehen ist, daß wir mit unseren physikalischen Mitteln die radioaktiven Zerfallsprozesse nicht beeinflussen können. Und in der Tat haben bis in die jüngste Zeit hinein ausgeführte Versuche, radioaktive Umwandlungen qualitativ oder quantitativ etwa durch extreme Temperaturen oder Drucke zu beeinflussen, nie zu positiven Resultaten geführt. Aber die große Energie der $\alpha$-Strahlen tritt nicht nur in der Unbeeinflußbarkeit der radioaktiven Umwandlungen zutage, sondern macht sich auch durch beträchtliche Wirkungen nach außen hin bemerkbar.

So war es schon frühzeitig erkannt worden, daß starke Radiumlösungen immer eine höhere Temperatur aufweisen als ihre Umgebung. Diese Wärme rührt daher, daß die mit großer Geschwindigkeit ausgeschleuderten $\alpha$-Strahlen in der Lösung selbst absorbiert werden und dabei ihre große kinetische Energie in Wärme umsetzen. Die quantitative calorimetrische Bestimmung dieser Wärmeentwicklung hat ergeben, daß 1 $g$ Radium im Gleichgewicht mit dem schnell zerfallenden aktiven Niederschlage pro Stunde rund 120 Grammcalorien entwickelt.

Da Radium im Gleichgewicht 4 $\alpha$-Strahlen emittiert, von denen 3 auf die Emanation und den aktiven Niederschlag entfallen, so rühren von den 120 Cal. 90 Cal. von der Emanation und ihren Zerfallsprodukten her. Die mittlere Lebensdauer der Emanation beträgt rund 133 Stunden. 1 Curie Emanation (die 1 $g$ Radium entsprechende Emanationsmenge) gibt also während seiner Lebensdauer $133 \times 99$ Cal. $= 11.970$ Cal. ab. Diese Menge wird von 0·6 $mm^3$ der Emanation bei ihrem spontanen Zerfall produziert. Unter allen Explosionsprozessen verläuft der des Knallgases unter der stärksten Wärmeentwicklung. 1 $cm^3$ Knallgas entwickelt bei der Explosion etwa 2 Grammcalorien. Die gleiche Menge Emanation gibt bei ihrem vollständigen Zerfall $\frac{1000}{0{\cdot}6} \times 11.970$ Cal., also das 10 Millionenfache der bei der Knallgasexplosion entwickelten Energiemenge. Auch das beweist wieder, unter welchen gewaltigen Energieumsetzungen die radioaktiven Prozesse verlaufen. Die große kinetische Energie der $\alpha$-Strahlung wird bei der Absorption der Strahlen nicht nur in Wärme umgewandelt, sondern es werden auch chemische Wirkungen ausgelöst. So wird Wasser, ähnlich wie bei der

Elektrolyse in Wasserstoff und Sauerstoff zerlegt, und in starken Radiumlösungen läßt sich deshalb die Bildung dieser Gase leicht erkennen. Sauerstoff wird unter der Einwirkung der $\alpha$-Strahlen in Ozon umgewandelt, wodurch sich der häufig beobachtete Ozongeruch in der Nähe offener, stark radioaktiver Präparate erklärt.

Auffallend sind die Färbungen, die viele Substanzen in der Nähe radioaktiver Präparate annehmen. Gläser färben sich braun oder violett, Steinsalz bernsteingelb, wasserheller Quarz wird dunkel, viele Edelsteine verfärben sich usw. Beim Erhitzen gehen diese Farbenänderungen meist wieder zurück.

Während aber die Wärmewirkung fast ausschließlich den $\alpha$-Strahlen zuzuschreiben ist, sind die Verfärbungen zum größten Teil auf die Einwirkung der $\beta$-Strahlen und auf die $\gamma$-Strahlen zurückzuführen. Denn die $\alpha$-Strahlen können wegen ihrer großen Absorbierbarkeit keine irgendwie erheblichen Tiefenwirkungen auslösen. Innerhalb der Schichten, in denen sie wirken können, ist aber diese Wirkung wieder viel beträchtlicher als die Wirkung der $\beta$- und $\gamma$-Strahlen. Freilich ist der Wirkungsbereich in festen Körpern, wie etwa Quarz, Glimmer etc., nur höchstens $0{\cdot}04\,mm$, weshalb sich die Erscheinungen nur unter dem Mikroskop verfolgen lassen. Auf diesen Färbungen durch $\alpha$-Strahlen beruht eine den Geologen seit langem bekannte Erscheinung, deren Erklärung immer große Schwierigkeiten bot, bis *Joly* die weiter unten dargelegte Deutung gab, nämlich das Auftreten sogenannter Halos oder pleochroitischer Höfe in gewissen Mineralien. Sie treten vor allem in manchen hellen Glimmersorten zutage, wo sie im Dünnschliff als dunkle Ringe um einen zentralen Punkt herum erscheinen. Der zentrale Punkt ist ein mikroskopisch kleiner Mineraleinsprengling, der, wie die Untersuchung gelehrt hat, Spuren radioaktiver Substanzen, Thorium oder Uran, als Verunreinigung enthält. Die von diesen Substanzen ausgesendeten $\alpha$-Strahlen dringen in die umgebende Mineralmasse (Glimmer) ein und rufen dort die als Halo beobachtete Verfärbung hervor. Das Gewicht der Einsprenglinge beträgt unter Umständen weniger als $^1/_{1000}\,mg$ und besteht dabei noch zum größten Teil aus nicht radioaktiven Mineralien, wie Zirkon u. dgl. Man kann nun berechnen, daß die Zeit, die nötig war, um diese Färbung zustande zu bringen, Hunderte von Millionen Jahren betragen haben muß. Wir sehen so, daß die radioaktiven Erscheinungen auch für die Geologie von Bedeutung sind, indem sie Schlüsse auf das Alter der Gesteine ermöglichen.

In viel sicherer Weise kann man zu Altersschätzungen der Gesteine durch Bestimmung ihres Heliumgehaltes gelangen.

Wir haben gesehen, daß jedes $\alpha$-Teilchen ein Heliumatom darstellt und daß $1\,g$ Radium pro Sekunde $3{\cdot}4 \cdot 10^{10}$ $\alpha$-Strahlen, also Heliumatome aussendet. Im Gleichgewicht mit der Emanation und dem schnell zerfallenden Niederschlag erhöht sich die Anzahl der pro Sekunde gebildeten Heliumatome auf das Vierfache $= 13{\cdot}6 \times 10^{10}$. Dies gibt pro Jahr $24 \times 60 \times 60 \times 365 \times 13{\cdot}6 \times 10^{10}$. Da nun $1\,cm^3$ irgend eines beliebigen Gases

$2{\cdot}8 \times 10^{19}$ Moleküle resp. Atome enthält, so entspricht die gefundene Zahl rund 160 $mm^3$ Helium.

1 $g$ Radium im Gleichgewicht mit seinem schnell zerfallenden aktiven Niederschlag produziert also pro Jahr 160 $mm^3$ Helium, unabhängig davon, ob es als reines Radiumsalz oder in der großen Verdünnung in gewöhnlichen Mineralien vorliegt. Kennt man daher den Radiumgehalt eines Minerals, so kann man leicht berechnen, wie viel Helium sich in diesem Mineral jährlich ansammelt, vorausgesetzt, daß nichts von dem gebildeten Helium entweicht.

Zu dem vom Radium gebildeten Helium kommt aber in den Mineralien noch das aus den übrigen $\alpha$-strahlenden Produkten der Uran-Radiumreihe gebildete Helium hinzu. Da im Mineral die Produkte im radioaktiven Gleichgewicht stehen, so senden alle $\alpha$-strahlenden Produkte gleich viele $\alpha$-Strahlen aus. Die Gesamtzahl der $\alpha$-strahlenden Produkte beträgt 8, von denen 4, also die Hälfte, auf Radium im Gleichgewicht mit der Emanation und dem schnell zerfallenden aktiven Niederschlag entfallen. Daher ist die Heliumbildung im Mineral doppelt so groß als die seinem Radiumgehalt entsprechende.

Da nun 1 $g$ Uran in einem beliebigen Urammineral $3{\cdot}4 . 10^{-7}$ $g$ Radium enthält, so entwickelt ein Gramm Uran in Urammineralien pro Jahr $2 \times 160 \times 3{,}4 \cdot 10^{-7}$ $mm^3 = 1{\cdot}08 . 10^{-4}$ $mm^3 = 1{\cdot}08 . 10^{-7}$ $cm^3$.

Kennt man daher von einem Urammineral den Urangehalt, so kann man aus der vorstehenden Zahl die jährliche Heliumproduktion berechnen. Bestimmt man ferner den Gesamtheliumgehalt, so kann man berechnen, wie lange der radioaktive Prozeß vor sich gegangen sein muß, um die gefundene Menge zu bilden, d. h. man findet so eine untere Grenze für das Alter des Minerals.

Ein Beispiel soll das erläutern:

Der Fergusonit ist ein Mineral mit 7% Uran. Ein Gramm Fergusonit bildet somit pro Jahr $0{\cdot}07 \times 1{\cdot}08 \times 10^{-7}$ $cm^3$ Helium. Er erhält pro Gramm Substanz $1{\cdot}8$ $cm^3$ Helium. Zur Bildung dieser Menge bedarf es also einer Zeit von

$$\frac{1{\cdot}8}{0{\cdot}07 \times 1{\cdot}08 . 10^{-7}}$$ Jahre, d. i. rund 240 Millionen Jahre.

Die Altersbestimmungen der verschiedensten Mineralien und Gesteine auf Grund ihres Heliumgehaltes sind in den letzten Jahren von *Strutt* in mustergültiger Weise durchgeführt worden und haben gezeigt, daß den den ältesten geologischen Perioden angehörigen Gesteinen ein Mindestalter von 700 Millionen Jahren zuzuschreiben ist, d. h. daß mindestens seit 700 Millionen Jahren die Erdrinde in festem Zustand sich befunden haben muß.

Altersschätzungen der Erde sind natürlich schon vor langer Zeit auf verschiedenen Grundlagen versucht worden. Die Erde ist infolge der Wärmeausstrahlung in den kalten Weltraum hinaus in einem ständigen Abkühlungsprozeß begriffen. Von dieser Tatsache ausgehend, berechnete Lord *Kelvin*, daß sich die Erde vor 100 Millionen Jahren noch im geschmolze-

nen Zustand befunden haben müsse, damit infolge der allmählichen Abkühlung ein Temperaturunterschied von 1° C pro 33 *m* Tiefe, wie man ihn heute von der Erdoberfläche gegen das Innere beobachtet, entstehen konnte. Die geologischen Bestimmungen hingegen deuteten immer auf höhere Werte für das Alter der Erde hin, ungefähr in der Größenordnung, wie sie die *Strutt*schen Bestimmungen aus dem Heliumgehalt der Gesteine ergeben haben. Daß die auf Wärmebetrachtungen gegründeten Altersschätzungen der Erde zu keinem richtigen Resultat führen, erklärt sich heute aus dem Umstand, daß das Oberflächengestein der Erde radioaktive Substanzen enthält, deren Wärmeentwicklung natürlich einen beträchtlichen Einfluß auf die Wärmeverhältnisse ausübt. Der in den Gesteinen vorhandene Radiumgehalt allein ist so groß, daß, wenn man nicht infolge desselben eine Zunahme der Erdtemperatur annehmen will, man zu dem Schluß gedrängt wird, daß die radioaktiven Substanzen in der Erdkruste nur bis zu einer Tiefe von etwa 70 *km* reichen.

Durch die weite Verbreitung radioaktiver Substanzen in den Gesteinen der festen Erdrinde wird es bedingt, daß auch die Quellen und Bodengewässer geringe Mengen radioaktiver Produkte, vor allem Emanation gelöst enthalten. Über die Radioaktivität derartiger Quellwässer (Heilquellen) liegt bereits ein ausführliches Material vor.

Aus dem Erdboden und den Quellen diffundieren die Emanationen in die Atmosphäre und bewirken eine Leitfähigkeit derselben. Hierzu kommt noch die Ionisation durch die $\gamma$-Strahlen der radioaktiven Substanzen der Erdkruste. Die Leitfähigkeit der Luft, eine früher unverständliche Erscheinung, hat also ebenfalls durch die radioaktive Forschung ihre Erklärung gefunden.

Druck von Gottlieb Gistel & Cie., Wien, III., Münzgasse 6.

QH
9
F6
Bd.6

Fortschritte der naturwissenschaftlichen Forschung

BioMed.

PLEASE DO NOT REMOVE
CARDS OR SLIPS FROM THIS POCKET

UNIVERSITY OF TORONTO LIBRARY

Kurt Hofmann, Buchbinder
HERMANN SCHEIBE WIEN